

PAT-NO: JP411097430A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11097430 A  
TITLE: HIGH-DENSITY PLASMA PROCESSING  
CHAMBER  
PUBN-DATE: April 9, 1999

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME  
SHIYAMOUIRU, SHIYAMOUIRIAN  
ANANDA, EICHI KUMAARU  
AANORUDO, KORODENKO  
DENISU, ESU GURIMAADO  
JIYONASAN, DEII MOON  
MAIKERU, JII CHIYAFUIN  
KENESU, ESU KORINZU

## ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME COUNTRY  
APPLIED MATERIALS INC N/A

APPL-NO: JP10199184

APPL-DATE: July 14, 1998

INT-CL (IPC): H01L021/3065, H01L021/205 , H01L021/265 ,  
H05H001/46

## ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a processing chamber which provides a high-density, highly directive plasma.

SOLUTION: A processing chamber 55, which processes a semiconductor substrate 60 in a plasma, has a process-gas distributor 100 for distributing the process

gas into the plasma zone of the chamber. By using an inductor antenna 135, an inductive plasma is formed from the process gas in the plasma zone. A primary bias electrode 145 located at a ceiling 140 of the chamber has a conducting surface 150 exposed in the plasma zone 65. A dielectric member 155 having a power electrode embedded inside has the receiving surface for receiving the substrate. A secondary bias electrode 170 under the dielectric member 155 has a conducting surface 175 exposed in the plasma zone. An electrode voltage source 180 maintains the power electrode 165, the primary bias electrode 145 and the secondary bias electrode 170 at the different potentials and provides a high-density, highly directive plasma to the plasma zone of the chamber.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

DERWENT-ACC-NO: 1999-293946  
DERWENT-WEEK: 200302  
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD  
TITLE: High density plasma process chamber  
used for processing of substrate - has dielectric member  
provided with power electrode embedded inside with  
acceptance surface for accepting substrate

INVENTOR: CHAFIN, M G; COLLINS, K S ; GRIMARD, D S ;  
KHOLODENKO, A ; KUMAR, A H  
; MOHN, J D ; SHAMOUILIAN, S

PATENT-ASSIGNEE: APPLIED MATERIALS INC [MATEN]

PRIORITY-DATA: 1997US-0893599 (July 14, 1997) ,  
1996US-0597577 (February 2,  
1996) , 1996US-0648254 (May 13, 1996) , 1996US-0743059  
(November 4, 1996)  
, 1997US-0832743 (April 4, 1997)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PAGES	PUB-DATE	MAIN-IPC	APPL-NO
LANGUAGE				N/A
JP 11097430 A		April 9, 1999		
022	H01L 021/3065			
US 6095084 A		August 1, 2000		N/A
000				

C23C 016/00

APPLICATION-DATA:	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
PUB-NO		
APPL-DATE		
JP 11097430A	N/A	
1998JP-0199184	July 14, 1998	
US 6095084A	CIP of	
1996US-0597577	February 2, 1996	
US 6095084A	CIP of	
1996US-0648254	May 13, 1996	

US 6095084A	CIP of
1996US-0743059	November 4, 1996
US 6095084A	CIP of
1997US-0832743	April 4, 1997
US 6095084A	N/A
1997US-0893599	July 14, 1997

INT-CL (IPC): C23C016/00, H01L021/205, H01L021/265,  
H01L021/3065,  
H05H001/46

RELATED-ACC-NO: 1991-103691, 1992-042986, 1992-073489,  
1992-193606  
, 1992-243380, 1992-243921, 1993-001347, 1993-075876,  
1993-236245  
, 1993-236246, 1994-078116, 1994-160532, 1994-169070,  
1994-184901  
, 1995-156980, 1995-163739, 1996-261908, 1996-400996,  
1997-179583  
, 1997-291523, 1997-505685, 1997-552568, 1997-552569,  
1998-122866  
, 1998-219398, 1998-232877, 1998-232878, 1998-243024,  
1998-243025  
, 1998-243040, 1998-325001, 1999-083868, 1999-145559,  
1999-203989  
, 1999-363022, 1999-469037, 2000-302053, 2002-681832,  
2003-027985

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 11097430A

BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - A dielectric member (155) provided with power electrode (165) embedded inside, has an acceptance surface for accepting a substrate. A secondary bias electrode (170) under dielectric member, has electrically conductive surface (175) exposed to plasma zone. The primary bias electrode and the power electrode are electrode voltage sources (180). DETAILED DESCRIPTION - The plasma process chamber (55) for semiconductor substrate (60) has a plasma zone with process gas and distributor for performing the allocation of process gas. A primary bias electrode (145)

in the ceiling (140) of gas chamber, has an electrically conductive surface (150) exposed to the plasma zone (65).

USE - For processing of semiconductor substrate in semiconductor manufacture.

ADVANTAGE - Offers process chamber with high directivity and high density plasma. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The diagram shows the high density plasma process chamber. (55) Plasma process chamber; (60) Semiconductor substrate; (65) Plasma zone; (140) Ceiling; (145) Primary bias electrode; (150,175) Conductive surfaces; (155) Dielectric member; (165) Power electrode; (170) Secondary bias electrode; (180) Voltage source.

ABSTRACTED-PUB-NO: US 6095084A

EQUIVALENT-ABSTRACTS:

NOVELTY - A dielectric member (155) provided with power electrode (165) embedded inside, has an acceptance surface for accepting a substrate. A secondary bias electrode (170) under dielectric member, has electrically conductive surface (175) exposed to plasma zone. The primary bias electrode and the power electrode are electrode voltage sources (180). DETAILED

DESCRIPTION - The plasma process chamber (55) for semiconductor substrate (60) has a plasma zone with process gas and distributor for performing the allocation of process gas. A primary bias electrode (145) in the ceiling (140) of gas chamber, has an electrically conductive surface (150) exposed to the plasma zone (65).

USE - For processing of semiconductor substrate in semiconductor manufacture.

ADVANTAGE - Offers process chamber with high directivity

and high density plasma. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The diagram shows the high density plasma process chamber. (55) Plasma process chamber; (60) Semiconductor substrate; (65) Plasma zone; (140) Ceiling; (145) Primary bias electrode; (150,175) Conductive surfaces; (155) Dielectric member; (165) Power electrode; (170) Secondary bias electrode; (180) Voltage source.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.2/16

TITLE-TERMS: HIGH DENSITY PLASMA PROCESS CHAMBER PROCESS  
SUBSTRATE DIELECTRIC  
MEMBER POWER ELECTRODE EMBED ACCEPT SURFACE  
ACCEPT SUBSTRATE

DERWENT-CLASS: U11 X14

EPI-CODES: U11-C02B1; U11-C07A1; U11-C09B; U11-C09C;  
X14-F02;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1999-220523

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-97430

(43)公開日 平成11年(1999)4月9日

(51)Int.Cl.<sup>a</sup>  
H 01 L 21/3065  
21/205  
21/265  
H 05 H 1/46

識別記号

F I  
H 01 L 21/302  
21/205  
H 05 H 1/46  
L  
H 01 L 21/265  
F

審査請求 未請求 請求項の数20 OL (全22頁)

(21)出願番号 特願平10-199184  
(22)出願日 平成10年(1998)7月14日  
(31)優先権主張番号 08/893599  
(32)優先日 1997年7月14日  
(33)優先権主張国 米国(US)

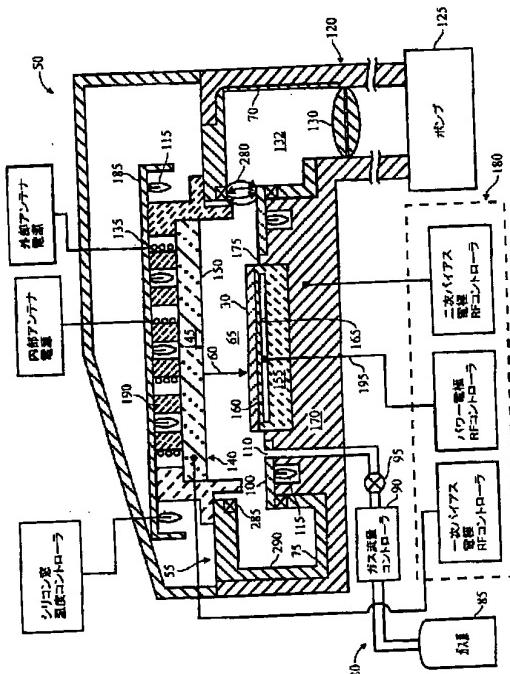
(71)出願人 390040660  
アプライド マテリアルズ インコーポレ  
イテッド  
APPLIED MATERIALS, I  
NCORPORATED  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95054 サンタクララ パワーズ ア  
ベニュー 3050  
(72)発明者 シャモウイル シャモウイリアン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州,  
サンノゼ, リトル フォールズ ドラ  
イヴ 6536  
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)  
最終頁に続く

(54)【発明の名称】高密度プラズマプロセスチャンバ

(57)【要約】

【課題】高密度、高指向性プラズマを提供するプロセスチャンバを得る。

【解決手段】プラズマ中で半導体基板60を処理するためのプロセスチャンバ55は、チャンバのプラズマゾーンにプロセスガスを分配するためのプロセスガス・ディストリビュータ100を備える。誘導子アンテナ135を使って、プラズマゾーン内でプロセスガスから誘導性プラズマを形成する。チャンバの天井140にある一次バイアス電極145は、プラズマゾーン65に露出した導電面150を持つ。内部に埋め込まれたパワー電極165を備えた誘電体部材155は、基板を受け入れるための受容面を持つ。誘電体部材155下の二次バイアス電極170は、プラズマゾーンに露出した導電面175を持つ。電極電圧源180は、パワー電極、一次バイアス電極、および二次バイアス電極を異なる電位に維持して、チャンバのプラズマゾーンに高密度、高指向性のプラズマを提供する。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ中で半導体基板を処理するためのプロセスチャンバであって、(a) プラズマを形成できるプロセスガスを前記チャンバのプラズマゾーンに分配するためのプロセスガス・ディストリビュータと、  
 (b) 前記プラズマゾーンに露出した導電面を有する、前記チャンバの天井にある一次バイアス電極と、(c) 前記一次バイアス電極の下に位置決めされると共に基板を受け入れるための受容面を有する、内部に埋め込まれたパワー電極を備えた単体モノリシック誘電体部材と、  
 (d) 前記誘電体部材の下の二次バイアス電極と、  
 (e) 前記パワー電極、一次バイアス電極、および二次バイアス電極を異なる電位に維持して前記チャンバの前記プラズマゾーンに高指向性プラズマを提供するための電極電圧源とを備えたことを特徴とするプロセスチャンバ。

【請求項2】 前記電極電圧源は、前記パワー電極を前記一次と二次のバイアス電極の電位より少なくとも約1000ボルト高い電位に維持することを特徴とする請求項1に記載のプロセスチャンバ。

【請求項3】 前記単体モノリシック誘電体部材は、被覆層を介した前記一次バイアス電極への、前記パワー電極に印加されるRF電圧の容量結合を許容してチャンバ内のプラズマを付勢するだけ低い電界吸収を有する、前記パワー電極上の被覆層、および支持層を介した前記第二バイアス電極への、前記パワー電極に印加されるRF電圧の容量結合を実質的に減少させるだけ高い電界吸収を有する、前記パワー電極の下の支持層を備えたことを特徴とする請求項1に記載のプロセスチャンバ。

【請求項4】 前記被覆層は約1Ωないし約500ΩのRFリアクタンスを有し、前記支持層は約100Ωないし約10000ΩのRFリアクタンスを有することを特徴とする請求項3に記載のプロセスチャンバ。

【請求項5】 前記パワー電極が、前記チャンバの電気的接地側壁に面する周縁部を備えると共に、前記誘電体部材が、前記パワー電極の前記周縁部を覆う非結合側部層を備え、前記非結合側部層は、前記プロセスチャンバの側壁への前記パワー電極の容量結合を減少させるだけ高い電界吸収を有するようにしたことを特徴とする請求項3に記載のプロセスチャンバ。

【請求項6】 前記二次バイアス電極は、前記プラズマに直接露出した表面を有すると共に、周囲の絶縁体シールドを持たない導体エレメントを備えたことを特徴とする請求項1に記載のプロセスチャンバ。

【請求項7】 前記単体モノリシック誘電体部材は、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、炭化ホウ素、窒化ホウ素、ダイアモンド、酸化ケイ素、炭化ケイ素、窒化ケイ素、酸化チタン、炭化チタン、酸化イットリウム、酸化ジルコニウムの1つ以上から作られたモノリシックセラミックを有することを特徴とする請求項1に記載の

2

## プロセスチャンバ。

【請求項8】 誘導子アンテナが前記チャンバの前記天井に当接すると共に、前記天井が、前記プラズマゾーンにプラズマを発生させるために前記天井を介した前記チャンバの前記プラズマゾーンへの、前記誘導子アンテナによって生成された誘導電界の誘導結合を許容するだけ低い電界感受性を有する半導体材料を備えたことを特徴とする請求項1に記載のプロセスチャンバ。

【請求項9】 請求項8のプロセスチャンバを使って基板を処理する方法であって、(a) 前記単体誘電体部材の前記受容面に基板を置くステップと、(b) 前記誘導アンテナに電流を通して前記チャンバに誘導電界を発生させるステップと、(c) 前記パワー電極、一次バイアス電極、および二次バイアス電極を異なる電位に維持してチャンバ内に高密度、高指向性のプラズマを提供するステップとを有することを特徴とする方法。

【請求項10】 前記単体モノリシック誘電体部材に埋め込まれた前記パワー電極にRFとDCの電圧を加えるステップと、前記一次と二次のバイアス電極を電気的に接地するステップとを有することを特徴とする請求項9に記載の方法。

【請求項11】 プラズマ中で半導体基板を処理するためのプロセスチャンバであって、(a) 前記チャンバのプラズマゾーンにプロセスガスを分配するためのプロセスガス・ディストリビュータと、(b) RF誘導電界を透過させるだけ低い電気的感受性と、前記プラズマゾーンに露出した導電面とを有する半導体天井に隣接した、前記プラズマゾーンで前記プロセスガスからプラズマを形成するための誘導子アンテナと、(c) 第1の誘電体部材が基板を上面に受け入れるための受容面を備え、それぞれが内部に電極を備えた、前記半導体天井の下の複数の誘電体部材と、(d) 前記半導体天井と前記電極とを異なる電位に維持して前記チャンバ内の前記プラズマを付勢するための電極電圧源とを備えたことを特徴とするチャンバ。

【請求項12】 前記電極電圧源は、前記天井と一つ以上の前記電極とを少なくとも約1000ボルトだけ異なる電位に維持することによって、前記電極を容量的に結合して前記チャンバ内の前記プラズマを付勢するようにしたことを特徴とする請求項11に記載のプロセスチャンバ。

【請求項13】 プラズマ中で基板を処理するためのプロセスチャンバであって、(a) プロセスガスを前記チャンバのプラズマゾーンに分配するためのガス分配システムと、(b) 前記プラズマに露出した導電面を有する、前記チャンバの天井にある一次バイアス電極と、(c) 内部に埋め込まれたパワー電極を備えた単体モノリシック誘電体部材であって、基板を受け入れるための受容面を形成する結合層と、前記電極のその他の表面を

50 囲む非結合層とを有し、前記結合層は、前記電極に印加

3

されるRFとDCの電圧が、それぞれ、前記プラズマを付勢するために結合層を介して容量結合して、前記基板を静電的に保持するだけ低い電界吸収を有し、前記非結合層は、それを介した容量結合を減少させるだけ高い電界吸収を有するようにした、誘電体部材と、(d)前記一次バイアス電極とパワー電極とを相互に異なる電位に維持するための電極電圧源と、(e)経時的に変化する角度方位と大きさを有する多指向性磁界を前記プラズマゾーンに発生させるための、前記チャンバに隣接する多指向性磁界発生器とを備えたことを特徴とするプロセスチャンバ。

【請求項14】 前記多指向性磁界は、円形方向に動く磁界を有することを特徴とする請求項13に記載のプロセスチャンバ。

【請求項15】 前記多指向性磁界発生器は、(1)前記チャンバの側壁に隣接して位置決めされた複数の電磁石と、(2)前記電磁石に印加される電流を変化させて前記プラズマゾーンに前記多指向性磁界を発生させる電磁石電源とを備えたことを特徴とする請求項13に記載のプロセスチャンバ。

【請求項16】 前記電磁石は、各ペアのコイルが前記基板の平面に実質的に平行な磁界を発生させる複数のペアの導電コイルを備え、前記電源は、磁界を電気的に発生させるためと、各コイルペアによって生成される前記磁界の角方位と大きさを独立して変更することによって前記磁界を選択的に動かすために、選択した順序で前記ペアコイルに通電するようにしたことを特徴とする請求項15に記載のプロセスチャンバ。

【請求項17】 前記多指向性磁界発生器は、(1)前記チャンバに隣接して位置決めされた複数の可動永久磁石と、(2)前記永久磁石を動かして前記プラズマゾーンに前記多指向性磁界を発生させるための手段とを備えたことを特徴とする請求項13に記載のプロセスチャンバ。

【請求項18】 プラズマ中で半導体基板を処理するためのプロセスチャンバであって、(a)プラズマを形成できるプロセスガスを前記チャンバのプラズマゾーンに分配するためのプロセスガス・ディストリビュータと、(b)前記プラズマゾーンに露出した導電面を有する一次バイアス電極と、(c)内部に埋め込まれたパワー電極を備えると共に、前記一次バイアス電極の下に基板を受け入れるための受容面を有する単体モノリシック誘電体部材と、(d)前記パワー電極と前記一次バイアス電極とを相互に異なる電位に維持して前記チャンバの前記プラズマゾーンに高指向性プラズマを提供するための電極電圧源とを備え、前記単体モノリシック誘電体部材を囲む絶縁体シールドが存在しないことを特徴とするプロセスチャンバ。

【請求項19】 前記電極電圧源は、前記パワー電極を前記一次バイアス電極の電位よりも少なくとも約100

10

20

30

30

40

40

4

0ボルトだけ大きい電位に維持するようにしたことを特徴とする請求項18に記載のプロセスチャンバ。

【請求項20】 前記パワー電極は、前記チャンバの電気的接地側壁に面する周縁部を備えると共に、前記誘電体部材は、前記パワー電極の前記周縁部を覆う非結合側部層を備え、前記非結合側部層は、前記プロセスチャンバの側壁への前記パワー電極の容量結合を減少させるだけ高い電界吸収を有するようにしたことを特徴とする請求項18に記載のプロセスチャンバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体基板を処理するためのプロセスチャンバに関する。

【0002】

【従来の技術】プロセスチャンバは、プラズマ強化化学的気相堆積法(CVD)、リアクティブ・イオンエッチング(RIE)、およびイオン注入(ion implantation)のために、半導体製作プロセスで使用される。図1は、プロセスガスをチャンバに提供するガス・ディストリビュータ22を有する従来のプロセスチャンバ20を示す。コイル電源24は、RFエネルギーをプロセスガスに誘導的に結合してプラズマを形成する、チャンバに隣接した誘導子コイル26に電力を供給する。RF電力をプラズマに結合するために使用されるプロセス電極は、通常、基板の下のカソード28と、カソードを囲むアノード32とを含む。カソード28は、その下とそのまわりに延在する一つ以上の石英またはニ酸化ケイ素絶縁体シールド34によってアノード32から電気的に絶縁される。電源36はインピーダンス整合RFバイアス電力をカソードに印加し、アノードはチャンバ20の電気的に接地された側壁と上部壁によって形成される。カソード28は、その上に置かれた静電チャック38、基板30、およびカソードの境界に形成するプラズマシースを介してアノード32に容量的に結合される。容量結合電界はプラズマイオンを付勢して基板30の方向に加速する。

【0003】従来のチャンバ20はしばしば、低いプラズマイオン密度と、広範囲のエネルギーレベルに拡散して多数のエネルギーレベルピークを持ったプラズマイオノンエネルギー分布を持つ。プラズマイオン密度とエネルギー分布は、プラズマシースの電子密度またはエネルギー分布、電極28、32に印加される容量結合RF電力の電力と周波数、プロセスガスの組成と圧力、およびチャンバ内部のコンポーネントに依存する。プラズマシースは、プラズマ内の電子と正イオン間のモビリティの差によって生じる電子不足領域であり、共鳴、インピーダンス負荷その他のチャンバの電気的特性によってもたらされる連合電圧波形を持つ。この電圧波形はプラズマシースの高調波成分(harmonic content)によって常態(normal)から振動を起こされる。RFバイアスおよびイン

50

5

ピーダンス整合回路、電力伝達ライン、電極28、32の構造、およびチャンバ20内部のコンポーネントはすべて、プラズマシースの高調波の発生をもたらし、これが結果として、時間と共にシースの電圧波形を擾乱して摂動波形(perturbed waveforms)を発生させる。摂動波形は、プラズマイオンエネルギー分布曲線が2つ以上のピークを持つ「二重優勢」多モードプラズマエネルギー分布を発生させる場合がある。そのような多重ピークエネルギー分布は望ましくない。というのは、プラズマイオンエネルギーの大きな広がりは、貧弱なプラズマ性能、例えば高アスペクト比のトレンチをエッチングするプロセスでのエッティング停止を招く低い平均プラズマイオンエネルギーレベルをもたらすからである。

【0004】低いプラズマ密度は、チャンバ20内の多数のコンポーネント、例えば誘電体または絶縁体シールド34、静電チャック38、焦点リング、およびガスシールに起因する場合もある。これらのコンポーネントは、コンポーネントを跨いで形成された容量結合の数による大きなチャンバインピーダンス負荷を提供する。例えば、カソード28の側壁から、隣接する誘電体コンポーネントを介して、まわりのアノード壁32まで延びる容量結合40は、チャンバにインピーダンス負荷を加える個々の「漏出しやすい(leaky)」コンデンサを形成する。これらの寄生(parasitic)キャパシタンスまたは漂遊(stray)キャパシタンスの結果、漂遊キャパシタンスのインピーダンス負荷は通常、プラズマのインピーダンス負荷よりはるかに大きいので、RFバイアス電源を調整してプラズマインピーダンスに整合させることは困難である。また、漂遊キャパシタンスは、プラズマシースである。また、漂遊キャパシタンスは、チャンバ内のコンポーネント間の漂遊キャパシタンスとインピーダンス負荷とを最小にするチャンバを持つことによって、より安定した制御可能なプラズマ特性を提供することが望ましい。

【0005】チャンバ内で互いに容量結合するコンポーネントがチャンバ内の電界を大幅に弱めることによって、プラズマイオンのベクトル指向性エネルギーが低くなる場合もある。プラズマイオンの低指向性エネルギーは、少なくとも一部は、基板の平面に垂直方向以外の角度をなす容量結合表面に起因する。特に、カソード28の垂直外縁部の結合は、基板30の平面に垂直な電界成分(electric field components)を常態から偏向させ、カソード28の外縁部の方向に湾曲させる場合がある。また、チャンバ内で基板を確実に保持するために使用される静電チャック38は、互いに容量結合する追加の界面を提供する。プラズマ核種(plasma species)も、基板30を囲む絶縁体シールド34を跨いで形成される容量結合の方向に誘引される。これらの容量結合は、基板表面全体のプラズマイオンエネルギーレベルまたはプラズ

マイオン密度の非対称分布をもたらし、基板の周縁部と中心部とが異なる速度で処理されることになる。

【0006】従来のチャンバに伴う別の問題は、カソード28を囲む石英絶縁体シールド34の使用から生じる。絶縁体シールド34は、チャンバ内のスペースを占めることにより、またカソード28がチャンバの幅全体にわたって延在するのを妨げることによって、カソード28の表面積対アノード32の表面積の比を減少させる。低いアノード対カソードの表面積比率はチャンバ内のプラズマイオン密度とエネルギーを減少させる。また、カソードの直径が小さくなると、基板の中心部に比べて基板30の周縁部でのプラズマイオン密度やエネルギーを減少させる場合がある。更に、石英絶縁体シールド34は形が複雑で製作費が高く、しばしば腐食性プラズマ環境での侵食による交換が必要となる。絶縁体シールド34は、基板に入りする熱の流れを減少させる、カソード28を囲む熱絶縁体としても働く。かくして、カソード28のまわりに絶縁体シールド34が存在せず、実質上チャンバの幅全体にわたってカソード28を延在させるプラズマプロセスチャンバを持つことが望ましい。しかしながら、これは現在のチャンバ設計では不可能である。というのは、カソード28は通常、プラズマに露出されてカソードまわりの絶縁体シールド34の存在なしにはプラズマ内で電気的に短絡するであろう金属ベースプレートを備えるからである。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来のチャンバは、チャンバ20に隣接する誘導子コイル26の配置から生じる問題も抱えている。チャンバ20の側壁に平行な誘導子コイル26は、基板30の中心部では強くて基板30の周縁部では弱い誘導電界を持つ、基板表面を横切る不均一な電界を提供する。他方、RF誘導電界を浸透させる平らな誘電体天井(図示せず)を介してエネルギーを誘導結合する誘導子コイルは、天井が不導電性誘電材料で作られているので、天井を介したエネルギーの容量結合を許容しない。チャンバ内の容量性と誘導性の両電界成分が、基板の表面に実質的に垂直で、かつ基板表面全体にわたって均一に延在する高指向性ベクトル電界成分を持つことが望ましい。

【0008】誘導子コイル26用の従来設計に伴う別の問題は、従来型誘導子コイルから誘導結合プラズマを形成するためにチャンバ20内に要求される比較的大容積のスペースから生じる。誘導子コイル26は通常、チャンバ20を取り巻き、チャンバは、コイルからのRF誘導電界用の大きな浸透厚(skin depth)を提供するだけの大きな容積を持たなければならない。大きな浸透厚がないと、チャンバ20内に形成されるRF誘導電界の大きさはプラズマを発生させるだけ高くならないだろう。しかしながら、大きな内部容積を持つプラズマチャンバ20は、プラズマイオンを付勢するために比較的大きい電

力レベルのRFバイアス電圧を使用しなければならず、それが基板の過熱を発生させてるので望ましくない。また、大きなプラズマ容積全体に均一なプラズマイオン密度とエネルギー分布を安定、維持することは一層難しい。また、大型化したプラズマ容積で発生するエネルギー摂動の増大のために、大容積のスペースを占める高密度プラズマを精密に調整することも一段と難しい。基板30の直径よりわずかに大きな直径を持つ小容量チャンバ内で高密度プラズマを提供するために、新しい誘導子コイルの設計が必要である。

【0009】かくして、均一なエネルギー分布を持つと共にイオンエネルギー分布の摂動を少なくした高密度プラズマを提供するプラズマプロセスチャンバのニーズが存在する。また、基板の全表面にわたって高指向性エネルギーべクトルを持つプラズマイオンの均一な分布を提供する装置のニーズも存在する。また、チャンバ内に安定化した制御可能なプラズマを発生させ得るプロセス電極と誘導子コイルの設計のニーズも存在する。更に、カソードまわりの絶縁体シールドの使用を除去すると共に、チャンバ内に高いアノード対カソード表面積比を提供するプラズマ処理チャンバのニーズも存在する。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、半導体基板を処理するための高密度、高指向性プラズマを提供するプロセスチャンバに関する。プロセスチャンバは、プラズマを形成できるプロセスガスをチャンバのプラズマゾーンに分配するためのプロセスガス・ディストリビュータを備える。チャンバの天井の一次バイアス電極は、プラズマゾーンに露出された導電面を持つ。単体モノリック誘電体部材は一次バイアス電極の下に配置される。誘電体部材はその内部に埋め込まれたパワー電極を備え、基板を受け入れるための受容面を持つ。二次バイアス電極は誘電体部材の下にある。電極電圧源は、高密度、高指向性プラズマをチャンバに提供するために、パワー電極、一次バイアス電極、および二次バイアス電極を異なる電位に保つ。

【0011】好ましい実施形態では、パワー電極を含む単体モノリック誘電体部材は、一次バイアス電極と対面するように基板を受け入れるための受容面を持つ結合被覆層を備える。結合層は、電極に印加されるRFとDC電圧からの電界が、それぞれ、チャンバ内のプラズマを付勢するために結合層を介して容量結合して、基板を静電的に保持するだけ低い電界吸収を有する。非結合層は、パワー電極の他の表面を囲み、パワー電極から周囲のチャンバ壁へのRF電圧の容量結合を実質上排除するだけ高い電界吸収を持つ。単体モノリック誘電体部材が、パワー電極まわりの独立した絶縁体シールドのニーズを除去するので、はるかに低い300ピコファラド以下のチャンバインピーダンスを提供する。これは、プラズマインピーダンス負荷に追加されるチャンバ

インピーダンス負荷を削減することによって、チャンバプラズマ性能を実質的に改善する。

【0012】誘導子アンテナを使ってチャンバ内に誘導電界を発生させ、プラズマゾーンでプロセスガスから誘導性プラズマを形成することが望ましい。誘導子アンテナは、(i) RF誘導電界の浸透を許すだけ低い電気的感度性(electrical susceptibility)と、(ii) プラズマゾーンに露出された導電面とを有する半導体天井に隣接することが更に望ましい。プロセスチャンバを使って基板を処理する方法は、(1) 基板を単体誘電体部材の表面に置くステップと、(2) 誘導子アンテナに電流を通してチャンバ内に誘導電界を発生させるステップと、(3) パワー電極と、一次と二次のバイアス電極とを異なる電位に保って高密度、高指向性プラズマをチャンバ内に形成するステップとを有する。

【0013】内部に電極を埋め込んだ単一の単体誘電体部材の代わりに、プロセスチャンバは、それぞれの誘電体部材が内部に埋め込まれた電極を備えた、半導体天井の下に位置決めされた複数の誘電体部材を備えてもよい。第1の誘電体部材は、その上に基板を受け入れるために受容面を備える。電極電圧源を使って半導体天井と電極とを異なる電位に維持して、チャンバ内のプラズマを付勢する。

【0014】プロセスチャンバの別の形態では、一次バイアス電極は、チャンバの天井に壁を形成する半導体材料から作られる。半導体壁は導電面を有すると共に、RF誘導電界の浸透を許容するだけ低い電気的感度性を有する。一つ以上の誘導子アンテナが半導体壁に隣接して配置されて、半導体天井を介して伝達されてチャンバ内にプラズマを形成するRF誘導電界を発生させる。内部に埋め込まれたパワー電極を備えた単体モノリック誘電体部材はチャンバ内にある。誘電体部材は、(i) 基板を受け入れるための基板受容面を持つと共に、パワー電極に加わるRFとDCの電圧が、それぞれ、チャンバ内でプラズマを付勢するために容量結合して、基板を静電的に保持するだけ低い電界吸収を持つ結合層と、(ii) 電極の他の表面を囲む非結合層であって、それを介した容量結合を減少させるだけ高い電界吸収を持つ非結合層とを備える。電極電圧源を使って一次バイアス電極とパワー電極とを互いに異なる電位に保ち、それによってチャンバに高密度、高指向性プラズマを提供する。

【0015】更に別の形態では、プロセスチャンバは、プロセスガスをチャンバに分配するためのガス分配システムを備える。一次バイアス電極はチャンバの天井にあり、プラズマゾーンに露出される導電面を持つ。内部に埋め込まれたパワー電極を備えた単体モノリック誘電体部材は、(i) 基板を受け入れるための基板受容面を持つと共に、電極に印加されるRFとDCの電圧が、それぞれ、チャンバ内でプラズマを付勢するために結合層

を介して容量結合して、基板を静電的に保持するだけ低い電界吸収を持つ結合層と、(i i) 電極のその他の表面を囲む非結合層であって、それを介した容量結合を減少させるだけ高い電界吸収を持つ非結合層とを有する。電極電圧源を使って一次バイアス電極とパワー電極とを互いに異なる電位に保つ。チャンバに隣接する多指向性磁界発生器が、時間とともに変化する角方位と大きさを持つ多指向性磁界をプラズマゾーンに発生させる。磁界発生器は、チャンバに隣接して位置決めされる複数の電磁石と、電磁石に印加される電流を変化させる電磁石電源とを備えてよい。代替として、磁界発生器は、チャンバに隣接して配置される複数の可動永久磁石と、永久磁石を動かす手段とを備える。

【0016】本発明のこれらとその他の特徴、局面、および利点は、下記の説明、請求項、および発明の好ましい実施形態を示す添付の図面に関して、より良く理解されるであろう。

## 【0017】

【発明の実施の形態】本発明は、プロセスチャンバ55 内で形成される高密度、高指向性プラズマ中で基板30 を処理するために使用されるプラズマ処理装置50に向けられる。高密度プラズマは、 $10^{10}$ イオン/ $\text{cm}^3$  のオーダーの低いイオン密度を持つ従来のプラズマに比べて $10^{11}$ イオン/ $\text{cm}^3$  を超えるイオンエネルギー密度を持つプラズマである。高指向性とは、帯電したプラズマイオンと核種がプラズマゾーン65内で電界ベクトルによって付勢されて、基板30の平面に実質的に垂直の方向に加速されることを意味する。高密度で高指向性のプラズマは、活発に基板30に衝突して基板と効率的に化学反応したり基板にエネルギーを伝達する大量の反応性プラズマ核種を提供する。高指向性プラズマを使用して、エッチングしたり、注入したり、基板30 上に材料を堆積させることができる。

【0018】本発明の代表的なプラズマ処理装置50を図2に概略的に示す。図はもっぱら本発明の例を示すために提供されるもので、発明の範囲を制限するために使用してはならない。装置50は一般に、金属、セラミック、ガラス、ポリマー、および複合材料を含む各種材料の任意の一つから製作される側壁70と底部壁75とを有する閉鎖チャンバ55を備える。プロセスチャンバ55を製作するために通常に使用される金属はアルミニウム、陽極処理アルミニウム、「HAYNES 242」、「A1-6061」、「SS304」、「SS316」、および「INCONEL」を含み、その中では陽極処理アルミニウムが好ましい。プロセスガスは、ガス流をチャンバに分配し、プロセスガス源85と、ガス流量計95を作動させるガス流量制御システム90とを含むガス・ディストリビュータシステム80を介してチャンバ55に導入される。ガス・ディストリビュータは、基板30を囲むシリコンリング100を備えることが望

10

ましい。図3(a)に示すように、シリコンリング100は、プロセスガスを保持するための環状通路105と、プロセスガスを基板30の周辺に分配するための一連のガス噴射孔110とを備える。シリコンリング100は、温度フィードバック用光学的高温計、リングを放射過熱するためのリングの下の一連のランプ115、および底部壁75への伝導による冷却を使用して、約250ないし約600°Cの温度範囲で±5°Cの精度で温度制御されることが望ましい。温度制御されたシリコンリング100は、プロセス環境から遊離フッ素イオンとラジカルとを掃除するための制御されたシリコンソースとしても役立つ。一つ以上の排気ポンプ125（通常1000リットル/秒の荒引きポンプを含む）とスロットルバルブ130とを備える排気システム120を用いて、使用済プロセスガスを排氣すると共にチャンバ55内のプロセスガスの圧力を制御する。非対称のポンプ排出用チャネル132を使ってガスをチャンバ55から排出して、基板30の表面のまわりの気体核種の均一な分布をもたらすことが望ましい。

【0019】図2に示す実施形態では、チャンバ55は、チャンバ内に誘導結合電界を発生させて内部に高密度誘導プラズマを形成する、チャンバに隣接した誘導子アンテナ135を備える。誘導子アンテナ135は、RF電力をチャンバ55に誘導結合するための、チャンバ天井140に隣接して配置された多重コイルを備えることが望ましい。複数のプロセス電極は相互に電気的にバイアスされると共に、プラズマシースと、電極を分離する誘電体層とを介して容量的に結合して、プラズマイオンを付勢する。一次バイアス電極145は、プラズマゾーン65に露出した第1の導電面150を備える。一次バイアス電極145の直下に配置された単体モノリック誘電体部材155は、その上に基板30を受け入れるための受容面140を持つ。パワー電極165は、誘電体材料がパワー電極を完全に囲むように、誘電体部材155の中に埋め込まれる。チャンバ55は更に、誘電体部材155の直下に配置されると共に、なるべくプラズマゾーン65に露出した第2の導電面175を持つ第2バイアス電極170を備える。パワー電極165と、第1と第2のバイアス電極145、170とを互いに異なる電位に保つために、電極電圧源180を設ける。3つ以上の電極の組合せが、垂直方向に整列して積み重ね式の円筒形電極配置を形成して、チャンバ55内に、高指向性プラズマイオンを持つ強力なプラズマを提供する。

【0020】一次バイアス電極145は、実質上基板の全区域に及ぶだけの大きな面積を持つ、基板30の直上に配置された導体エレメントを備える。一次バイアス電極145は、誘電体部材155内のパワー電極165に容量的に結合されて、基板30の平面に実質的に垂直な高指向性電界成分60を提供する。好ましい実施形態では、一次バイアス電極145は、バイアスされるか接地

50

11

されるかしてチャンバ55内に電界を形成できる導体として働く半導体天井140を備える。半導体天井140は、天井の誘導子アンテナ135によって伝達されるRF誘導電界に低インピーダンスを提供する誘導電界伝達窓(induction field transmitting window)としても働く。半導体天井140は、一次バイアス電極145として働くだけの充分な導電性を持つと共に、誘導子アンテナ135によって生成される誘導電界を、天井を介して最小の電力損失で伝達するだけ低い電界感受性を持つ。天井140は、他の材料に比べてシリコン基板30を処理するための汚染源になりにくいシリコンから成ることが望ましい。しかしながら、炭化ケイ素、ゲルマニウム、またはII-V族複合半導体、例えばヒ化ガリウムやリン化インジウム、あるいはII-II-I-V族複合半導体、例えば水銀カドミウム・テルラ化等の他の周知の半導体材料も使用できる。好ましい実施形態では、半導体天井140は、約 $500\Omega\text{-cm}$ (室温)未満、より好ましくは約 $10\Omega\text{-cm}$ ないし約 $300\Omega\text{-cm}$ 、最も好ましくは約 $20\Omega\text{-cm}$ ないし約 $200\Omega\text{-cm}$ の抵抗率を持つ半導体シリコンのスラブから構成される。

【0021】シリコン天井140の温度は、半導体材料が半導体(semiconducting)特性を備えると共に、キャリア電子濃度が温度に対してかなり一定になるような温度範囲に保たれる。シリコンでは、好ましい温度範囲は約100K(それ以下ではシリコンが誘電体特性を持ち始める)ないし約600K(それ以上ではシリコンが金属導体特性を持ち始める)である。この範囲を超える温度では、シリコンは金属と同様のコンダクタンスを与える。この温度範囲より上では、非常に低い導電率の誘電体材料として挙動する。誘導電界窓と電極の両方の動きをさせるために、半導体天井140の温度の能動的制御が望ましい。窓の能動的温度制御は、一貫性のある安定したプラズマと、プラズマ用の良好な「コールドスタート」(cold start)条件も提供する。天井140の温度は、タングステンハロゲンランプ115等の複数の放射ヒータと、伝熱流体が中を流れる通路(図示せず)を持ったアルミニウムか銅製の伝熱プレート185を使用して制御される。伝熱流体ソースは伝熱流体を通路に供給して、必要に応じて伝熱プレート185を加熱、冷却することによって、チャンバ55を一定温度に維持する。半導体によって、チャンバ55を一定温度に維持する。半導体天井140は、底面が天井140に着座すると共に上面天井140がプレートを支持する複数の高い熱伝導性リング190がプレートを支持する複数の高い熱伝導性リング190を介して、プレート185と熱的に接触している。伝熱リング190の下部のまわりに配置されているのは誘導子アンテナ135である。伝熱リング190の高さは、プレート185が誘導子アンテナ135の上に少なくともアンテナ総高さの1/2だけ離れて支持されるように選択される。これは、さもなければプレート185の導電面への接近によって生じるであろう、アンテナ135

50

12

とプラズマ間の誘導結合の減少を緩和するか除去する。【0022】単体モノリシック誘電体部材155に埋め込まれたパワー電極165は一次バイアス電極145から離れて、その直下に配置される。パワー電極165は2つの機能を持ち、パワー電極から一次バイアス電極145まで延在する容量結合電界を形成するためのプラズマ電極として役立つと共に、基板30を誘電体部材155に静電的に保持するための静電荷を発生させる静電部材としても役立つ。パワー電極165を使って、DCチャック用電圧とRFバイアス電圧の両方を伝えることが望ましく、両電圧は、パワー電極165に接続する誘電体材料155を通して挿入されるバナナジャック等の電気コネクタ195によって印加される。電圧源180は、パワー電極165にプラズマ発生用RF電圧を提供するためのAC電圧源と、電極165にチャック用電圧を提供するためのDC電圧源とを含む。AC電圧源は、13.56MHzから400kHzまでの一つ以上の周波数を持った、チャンバに容量結合プラズマを形成するためのRF発生用電圧を提供する。電極165に印加されるRFバイアス電流の電力レベルは通常、約50から約3000Wまでである。独立したDC電圧を電極165に印加して、基板をチャックに保持する静電荷を形成して、DCチャック電源に電気的に接続されたDC阻止コンデンサ回路と構成する。RF電力をブリッジ回路とDCコンバータとに連結して、DCチャック用電力を電極に提供する。電圧源180は、基板30のチャックとチャック解除およびプラズマチャンバ55内のプラズマの発生のためにDC電流とRF電流、またはその両者を電極に向けることによって電極の動作を制御するためのシステムコントローラを含んでもよい。DCチャック電源は通常、250ないし2000VのDCチャック用電圧を電極165に提供する。

【0023】パワー電極165の作用面積は、一次バイアス電極145に結合してそれらの間の電界の面積を最大にするように選択される。チャンバ内には絶縁体シールドは存在しないので、パワー電極の作用面積を増加させてチャンバ底部全体を横切って延在する直径を有する面積をカバーすることができる。これは従来のカソードの作用面積よりもはるかに大きいパワー電極作用面積を提供する。一次バイアス電極145の表面積対パワー電極165の表面積の比は少なくとも約0.9:1であることが望ましい。より好ましくは、パワー電極がチャンバ内的一次バイアス電極145の面積の少なくとも約98%を占めることである。約200mm(8インチ)の直径を持つ円形基板30では、パワー電極165の適当な直径は約180から約220mmである。

【0024】プラズマゾーン65のプラズマイオン密度は、パワー電極165を基板直径以下の一次バイアス電極145から短距離の範囲で、基板直径のわずか数分の一距離(例えば直径20cmウェーハでは数センチ以

13

内)に接近して配置することによって高められる。基板表面近くのプラズマの垂直方向閉じ込めは、パワー電極を、チャンバ55の側壁に対するよりも頭上的一次バイアス電極145に対してはるかに近付けることによって、パワー電極165からチャンバ55の側壁70までの寄生キャパシタンスによるエネルギー損失を減少させる。2つの電極間の距離は約1ないし20cmであることが望ましく、より好ましくは約2ないし約10cmである。

【0025】埋め込まれたパワー電極165を持つ単体モノリシック誘電体部材155は、従来技術の電極設計に比べて幾つもの利点を提供する。第1に、プラズマ付勢用兼チャック用組合せ電極165は、チャンバ70内の他の電極がパワー電極165に対して電気的接地または浮遊電位を含む異なる電位に維持された状態で、「ホット」(hot)なRF電圧が加えられる唯一の導体である。パワー電極165は単体誘電体部材155に埋め込まれているので、パワー電極は、従来技術のチャンバのように絶縁体シールドによって電気的アースから電気的に絶縁される必要はない。絶縁体シールドがまったく存在しないことは、パワーおよび二次バイアス電極165、170とチャンバ壁70、75間の寄生キャパシタンスの数を減少させる。これが、さもなければパワー電極165、絶縁体シールド、および接地チャンバ壁間に生じるであろう寄生チャンバインピーダンス負荷を除去する。アースに対する寄生RF損失が最小になるので、RF負荷のインピーダンスを電源のインピーダンスに整合させる電源180の回路が簡易化され、それによって電力の、より効率的な移動が可能になる。また、複雑な形の石英絶縁体シールド34は製作費が高く、多くのプロセス環境で急速に侵食される場合がある。最後に、静電チャック38とパワー電極165の電極の機能を組み合せることによって、単独の静電チャックの使用は最早、必要としない。

【0026】図3(a)と3(b)について説明すると、誘電体部材155の電気的特性は、約10<sup>8</sup>ないし10<sup>14</sup>Ω-cmの低い導電率を得るように選択される。誘電体部材155は、電極165を電気的に絶縁してチャンバ55内のプラズマの短絡を防ぐと共に基板30を電極から絶縁するための被覆層200を備える。誘電体被覆層200は、電極165に印加されるRFバイアス電圧を、誘電体部材155上に形成するプラズマシースを通して、一次バイアス電極145に被覆層を介して容量結合させるだけ低い電界吸収を持つ誘電体材料から形成される。誘電率、電界感受性、および被覆層200の厚さは、被覆層を介して一次バイアス電極145への、パワー電極165に印加されるRF電圧の容量結合を高めるように選択される。更に、被覆層200は、パワー電極165に印加されるDC電圧が、クーロンまたはジョンソン・ラーベック静電引力によって基板30を静電

10

20

30

40

14

的に保持することを可能にする。被覆層200は少なくとも約2の誘電率を持つことが望ましい。パワー電極165の下の誘電体支持層205は充分に厚く、またパワー電極と、下にくる二次バイアス電極170の間の電気的結合を減少させるか制限するだけ高い電界吸収を持つ。チャンバ55の電気的接地側壁70に面するパワー電極165の周縁部208は、チャンバ側壁70への電極の結合を妨げるだけ高い電界吸収を持つ側部非結合層210によって囲まれることが望ましい。支持層205および側部層210等の、パワー電極165を囲む層の誘電体材料は、少なくとも約1の誘電率を持つことが望ましい。

【0027】単体誘電体部材155の各層のRFリアクタンスは、誘電体部材の各部分を通る所望の結合効果または非結合効果を達成するように調整される。誘電体被覆層200は約1ないし約500Ω、より好ましくは1ないし50ΩのRFリアクタンスを持ち、支持層205は約100ないし約10000Ω、より好ましくは100ないし1000ΩのRFリアクタンスを持つことが望ましい。パワー電極165の上または下の誘電体層の最小厚さは、公式C = (E<sub>0</sub>E<sub>r</sub>A)/Lを使って決定できる。ここにしは誘電体層の最小厚さ、Aは面積、E<sub>0</sub>とE<sub>r</sub>は誘電体材料と空気の比誘電率である。誘電体被覆層200の適当な厚さは約1ないし1000ミクロンで、誘電体支持層205の適当な厚さは約0.1ないし約15mmである。約8300ピコファラードのインピーダンス負荷を持つ代表的なチャンバ設計では、誘電体被覆層200の最小厚さは約3.6mmである。約400ないし600ピコファラードの低いインピーダンス負荷を持つ本プロセスチャンバでは、誘電体支持層205の最小厚さは約8.4mmが望ましい。キャパシタンスのこの値は約6.4Aの電流負荷を与え、これは従来チャンバのプラズマに供給される電流の電力レベルの約1/6で、より電力効率の高い、調整されたプラズマを提供する。

【0028】誘電体部材155は、熱溶融セラミックまたはポリマーからモノリシック構造として製作された、埋め込みパワー電極165を含む単体の離散構造を備えている。モノリシックセラミック構造が好ましいのは、上記の材料が通常、低多孔性の高度に信頼性のある電気特性を持ち、パワー電極165を完全に取り囲むのでチャンバ55内の絶縁体シールドのニーズを除去するからである。稠密なセラミック構造の高い絶縁破壊強さもまた、通常は比較的低い絶縁破壊強さを持つAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の薄い皮膜を有する従来技術の誘電体部材に比べて、パワー電極165に対する高RF電力レベルの適用を可能にする。誘電体部材155は、約10%以下の有孔率を持つ低有孔性セラミックから製作されることが望ましい。適切なセラミック材料は一つ以上の酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、炭化ホウ素、ダイヤモンド、酸化ケイ

50

15

素、炭化ケイ素、窒化ケイ素、酸化チタン、炭化チタン、酸化イットリウム、および酸化ジルコニウムを含む。誘電体材料の熱伝導率は、例えばダイヤモンドや窒化アルミニウムによって提供される約80ないし約240W/mKの高伝導率が望ましい。誘電体媒体に埋め込まれるパワー電極165はアルミニウム、銅、金、モリブデン、タンタル、チタン、タングステン、およびそれらの合金等の導電性金属から製作され、より好ましくは埋め込み電極との誘電体部材の熱焼結を許すタングステン、タンタル、またはモリブデン等の高融点耐熱金属から製作される。埋め込みパワー電極165を持つ誘電体部材155は、セラミックパウダーと低濃度の有機バイオレーター材料の混合体から静水圧プレス成形(isostatic pressing)、ホットプレス成形、型铸造(mold casting)、またはテープ铸造(tape casting)によって製作される。

【0029】単体誘電体部材155は、それを貫通して延在する、基板30の下の受容面160にヘリウム伝熱ガスを提供するためのガスフィードスルー孔215を備えることもできる。ヘリウムガスフィードスルー孔215は、孔中のヘリウムのプラズマグロー放電を防止するだけの小さな直径を持ち、その直径は約1ないし10mm(ミル、25~250ミクロン)が望ましく、さもないとヘリウムガスは孔の終端部でプラズマグロー放電や電気的アークを形成する。通常、ガスフィードスルー孔215は、基板30の下の領域への伝熱ガスの均等な分配を提供するために、誘電体部材の外周のまわりに設けられる。

【0030】二次バイアス電極170は、パワー電極165の下に配置されるバイアス電極または照合電極として働く。二次バイアス電極170はパワー電極165の直径または幅と実質上同等かそれ以上の直径または幅を持つ。二次バイアス電極170がパワー電極165に対してわずかにマイナスかプラスの電位に保たれるときは、二次バイアス電極170は、一次バイアス電極145とパワー電極165間のバイアス電場を制御するための二次バイアス手段として役立つ。二次バイアス電極はまた、制御可能な電界強度によって上記の容量結合効果を二次バイアス電極の方向に向け直すパワー電極と二次電極間の電位差を維持することによって、さもなければチャンバ壁70とパワー電極165間に発生するであろう漂遊キャパシタンスを削減する働きもする。2つの電極間の電界強度は、2つの電極に印加される電圧の相対電位差を調節することによって制御される。

【0031】二次バイアス電極170は、パワー電極165を含む誘電体部材155の直下に配置されたアルミニウム等の導電材料の導体アレメントから成る。熱伝導性接着剤が誘電体部材を二次バイアス電極170に結合する。接着剤は、それが流れるスリットを持つアルミニウムキャリヤ上に熱伝導性不活性パウダーを装填した感圧接着剤から成ることが望ましい。接着結合は、均一な

16

圧力を得るために結合層内のエアポケットを避けるためにオートクレーブ内で行なわれる。二次バイアス電極170は、図4に示すように、誘電体材料内に埋め込まれるか誘電体材料によって被覆される。その他に、二次バイアス電極が、一次バイアス電極に印加される電圧に等しい低電圧に維持されるか電気的に接地されるときは、二次バイアス電極170は、図5(a)に示すように、プラズマゾーン65に露出された導電面175、例えば導体アレメントの側壁225を備える。

【0032】別の機能では、図3(a)に示すように、二次バイアス電極170は、伝熱流体を循環して、強力なプラズマイオンによるボンバードによって加熱される誘電体部材155と埋め込みパワー電極165の温度を制御するためのチャネル230を備える。この形態では、電極電源180は二次バイアス電極170を浮遊電位に維持することが望ましく、さもなければ、チャネル230内を循環する通常は水の伝熱流体に対する放電を避けるために接地される。誘電部材155は二次バイアス電極170から完全に電気的に絶縁されているので、二次バイアス電極とパワー電極215間に追加の電気絶縁層を必要としない。

【0033】電極電源180はパワー電極165、一次バイアス電極145、および二次バイアス電極170を互いに異なる電位に保つ。電極電源180は、図4のブロック線図に示すように、異なる電圧を異なる電極に導くための出力端子を有する一つ以上の従来型電圧供給システムを備えることができる。電極電源180は一次バイアス電極145とパワー電極165とを少なくとも約1000Vだけ異なる電位に保つことによって、2つの電極間に強い容量結合の電界を提供してチャンバ55内のプラズマを付勢することが望ましい。電源180はまた、パワー電極165と二次バイアス電極170とを少なくとも100Vだけ異なる電位に保つことによって、両電極間に弱い容量結合を提供して、チャンバ55内の漂遊キャパシタンスを減少させる。チャンバ55内の寄生キャパシタンスは、二次バイアス電極170を、上にくるパワー電極165とは異なる電位に保つことによって削減される。例えば、パワー電極が、高電圧が印加した状態で「ホット」であるとき、二次バイアス電極170を電気的に絶縁、浮遊、または接地してもよい。パワー電極165の下に接合バイアス電極を使用すると、パワー電極から二次バイアス電極170まで延在する電界成分にベクトル指向性を与える。二次バイアス電極170はパワー電極165の直下にあるので、パワー電極とチャンバ壁70、75間の容量結合から生じる漂遊電界成分はすべて、二次バイアス電極の方向に向きを変える。その結果、一次バイアス電極145とパワー電極164間の電界成分60は、電界強度の希釈や漂遊容量効果を殆ど伴うことなく、両電極の2つの対向面間で実質上垂直方向に向けられる。このようにして、電源

17

180は一次と二次のバイアス電極145、170を第1の低電位に保ち、パワー電極165を第2の高電位に保つことによって、チャンバ内に高指向性の電界を提供する。

【0034】垂直に積み重ねた円筒形の多重電極システムの配置は、プロセスチャンバ55の円筒の軸に実質上平行で、かつ基板30の処理面の平面に実質上垂直な、強力で垂直の電界成分60を提供する。一次と二次とパワー電極に加わる電気的バイアス電圧の大きさを制御することによって、チャンバ55内の強力なプラズマ核種のベクトルの大きさと方向を、より正確に制御することもできる。これが達成されるのは、3つの電極145、165、170の各々に加わる相対電位が電極間の電界成分75の大きさと指向性を制御するからである。例えば、一次バイアス電極145とパワー電極165間の高い電位差は、プラズマ核種を基板30の方向に加速する2電極間の極めて強力な電界を提供する。しかしながら、パワー電極165と二次バイアス電極170間の電位差の増加は、パワー電極から下方に、下にくる二次バイアス電極の方向に放射する一部の電界成分の向きを変えることによって、基板30に向けられる電界成分の強さを低下させるように働くだろう。各電極の相対電位を制御することによって、プラズマ核種のエネルギーと指向性を精密に調整して、入射プラズマイオンと中性粒子(neutrals)の所望のエネルギーレベル分布を達成できる。

【0035】プラズマイオン密度とプラズマイオンエネルギーは、本プロセスチャンバ55では、誘導子アンテナ135に印加される電流の電源電力レベルと、3つの積み重ね式電極145、165、170の各々に印加される電圧のバイアス電力レベルとを個々に制御することによって独立して制御できる。従来のチャンバは一般に、3つ以上のプラズマ電極の使用によるイオンエネルギーの独立した制御を行なわない。通常、誘導的に結合された電力が総合プラズマ特性またはプラズマイオン密度を定め、容量的に結合された電力が基板30上に入射するイオンのイオンエネルギーを定める。プロセスチャンバ55の電源およびバイアスの二重制御が、はるかに低い $10^{10}$ イオン/ $\text{cm}^3$ オーダーのイオン密度をもたらす従来のRIE(リアクティブ・イオンエッチング)に比べて、 $10^{11}$ イオン/ $\text{cm}^3$ を超えるイオンエネルギーを持つ高密度プラズマを提供すると共に、3つの電極に加わるバイアス電圧に対するより良い制御を可能にする。優勢イオン対中性核種密度比とエネルギーレベル分布もまた、小さなエッチング形状、例えば0.5ミクロン以下のフィーチャサイズにおける優れたエッチング性能を提供することによって、より良好なエッチング異方性(etch anisotropy)、エッチングプロファイル、およびエッチング選択性を提供する。

【0036】更に、パワー電極165とチャンバ壁7

18

0、75間の不定の寄生キャパシタンスは、パワー電極165と二次バイアス電極170間の電位差を、パワー電極165から延在する補助電界成分が二次バイアス電極170の方向に優先的に向けられるだけ高く維持することによって、削減または完全に除去できる。チャンバ55のインピーダンス負荷に対するこれらの漂遊キャパシタンス損失の影響は重要な場合がある。実際、寄生キャパシタンス負荷は、プラズマ自体の容量性負荷に比べてもはるかに大きいので、電源180のインピーダンスをはるかに小さいプラズマのインピーダンス負荷に正確に整合させることは難しい。より効率的で安定したプラズマへの電力移動をもたらすには、プラズマのインピーダンスを電源180のインピーダンスに整合させる能力も必要である。更に、上記の寄生キャパシタンス損失の大きさは、プロセスチャンバ55に取り付けられるハーデウェア、例えば絶縁体シールド、焦点リング、およびガス分配ノズルの形式と配置に依存する。プロセスハーデウェアはプロセスからプロセスへと変更される可能性があるのでインピーダンス負荷も変更されて、それぞれの異なるチャンバ構成のインピーダンス特性を整合させることが難しくなる。しかしながら、単体誘電体部材155のパワー電極165の使用は、約3000ピコファラード未満、より一般的には約1000ピコファラード未満、最も一般的には500ピコファラード未満のチャンバインピーダンス負荷を提供するのに対して、従来のチャンバは7000ないし10000ピコファラードのチャンバインピーダンス負荷を提供する。このようにして、本発明は漂遊キャパシタンスを削減することによって、従来のチャンバよりもより効率的で制御可能なプラズマへの電力移動と、より一貫したプラズマ負荷特性を提供する。

【0037】ここで、本発明のプロセスチャンバ55の好ましい特性と局面、および代替のチャンバ設計を説明する。

【0038】「誘導子アンテナとシリコン天井」図4と5(a)は、誘導子アンテナ135とRF電界透過天井とを有する本プロセスチャンバのバリエーションを示す。誘導子アンテナ135は、プロセスチャンバ55の縦軸に一致すると共に基板30の平面に垂直な中心軸を持つ円対称の誘導子コイルを備えている。しかしながら、誘導子コイルの円対称は、基板30の中心部の上に生成される電子の数を減少させる、対称の中心軸沿いに0または最小値を持つ誘導電界ベクトル成分の空間分布を提供する。かくして、誘導子アンテナ135は、互いの中に積み重ねられて、それぞれがチャンバ55の縦軸とほぼ一致する中心軸を持つ非平面ソレノイドコイルを備えることが望ましい。米国特許出願第08/648,254号に記載されるように、プロセスチャンバ55は円筒チャンバであり、誘導子アンテナ135のコイル巻線を2つのソレノイド135a、135bの形に垂直に積み重ねる

19

ことによって天井140近くで電流とアンテナ巻数の積を増加させて( $d/dt$ ) ( $N \cdot I$ )、プラズマに密接に結合した強力な誘導磁束連鎖(inductive flux linkage)と、従って基板30に隣接するプラズマゾーン65のより大きなプラズマイオン密度を提供する。

【0039】図5(b)は好ましいコイル構成を示し、アンテナ135の巻線は、それぞれ個々の巻きが、水平巻きから次の水平巻きへの移行部を除いて、基板30の水面上に平行になるように巻かれているので、アンテナ135の巻線は基板の平面に実質的に平行である。誘導子アンテナ135は一つ以上のソレノイドコイルを備え、各コイルは1ないし10巻き、より一般的には2ないし6巻きであることが望ましい。好ましい構成では、誘導子コイルは2つの4巻きソレノイドコイルから成り、内部コイル135aは約9cm、外部コイル135bは約25cmの直径を持つ。各コイルは、半導体誘導子窓145への熱伝達を減少させるために液体冷却される。コイル135a、135bは、より高い信頼性で、より正確なRF電力制御を提供すると共にインピーダンスの能動的RF整合を除去する3つのチャンネルRF発振器によって電力を供給される。制御システムは、真供給電力制御と組み合わせて、各電源コイルとバイアス電源に対して相互排他的な周波数範囲の周波数同調を使用する。

【0040】「電源システム」図4に示す好ましい電源システムは、周波数同調を用いて誘導子コイル135a、135bとプロセス電極145、165、170の両者に電力を供給する合同RF/DC電源180を備えている。合同RF/DC電源180は、5つのRFチャンネルと、各チャンネルが真供給電力を制御するための固定インピーダンス整合ネットワーク235とを持つ。RF電源電力は2つの独立した出力240、245によって内部と外部誘導子アンテナに供給され、RFバイアス電力は独立した電極出力250、255、260によってプロセス電極145、165、170に供給される。好ましい実施形態では、電極145、165、170と各誘導子アンテナ135a、135bは、より正確なRF電力の制御を提供すると共にプラズマ内のRF相互作用を最小にするために、個別の相互排他的な周波数で動作する。合同RF/DCおよびコイル電源180は各RF出力毎の、個別の固定インピーダンス整合ネットワーク235を含む。能動的なRF整合の除去は、より高い信頼性とプロセスの再現性を提供する。しかしながら、本発明は固定インピーダンス整合回路を持つRF発振器の使用に限定されず、周波数同調や関連パラメータサーボ方法を使用する。実際、本発明は、如何なる種類のインピーダンス整合回路を使用する場合でも一般的に適用できる。例えば、インピーダンス整合コンポーネントは「固定」でなくて可変でもよく、その場合はRF発振器の従来のインピーダンス整合コントローラは、プラ

10

20

30

40

50

20

ズマチャンバ負荷インピーダンスの変動に追従するようインピーダンス整合ネットワークの1コンポーネント(例えばアルファフィルタの2つのコンデンサの中の一つ)のリアクタンスを変更することによって動作する。

【0041】RF電圧発振器モジュール265は、基板30を通じて横方向に延在する電界を発生させて基板上のプラズマを付勢するためのRFエネルギーをパワー電極165に印加される電圧のRF周波数は、誘導子アンテナ135に印加される周波数から相互に排他的であり、高調波分離(harmonic isolation)フィルタ270を持つ固定整合ネットワーク235を介して印加される。整合ネットワークコンポーネントは、RF電圧モジュール256のインピーダンスをパワー電極165の負荷インピーダンスに選択周波数範囲ほぼ整合させるように選択される。RF電圧モジュール265をチャンバ55に同調するために、RF周波数を周波数の選択範囲内で変更して最小反射電力を見出す。固定ネットワーク(電源またはバイアス)ではこれは近共振状態となるが、必ずしもゼロ反射電力をもたらすわけではない。設定点電力が順電力と反射電力間の差と比較され、設定点レベルで一定の供給電力を提供するように順電力が自動調節されて、インピーダンスの大きさのミスマッチを補償する。一定の供給電力レベルを維持するために両制御ループが繰り返される。

【0042】電源180のDCチャック用電圧モジュール275は約12から36V DCのDC出力「チャック用電圧」をパワー電極165に提供して、クーロンまたはジョンセン・ラーベックの力によって基板30を単体モノリシック誘電体部材155に静電的に保持できる静電荷を電極内に発生させる。単極電極では、基板30はチャンバ内のプラズマイオンによって帯電されて、基板を誘電体部材155に誘引、保持する反対極性を有する残留電荷を形成する。双極電極では、互いに電気的に絶縁された電極の2つの部分が相互に電気的にバイアスされて、基板30を誘電体部材155に保持する静電力を発生させる。

【0043】シース電圧波形の歪みは、特定のインピーダンスをシース電圧と電流の高調波成分(例えば第2と第3高調波)に与えると同時に基本周波数においてインピーダンス整合ネットワークと協力して所望のインピーダンス整合を提供する高調波フィルタ270を、チャンバ55と、合同RF/DC電源180(またはインピーダンス整合ネットワーク)のRF出力250、255、260の間に設けることによって、防止される。高調波フィルタ270を選択して、インピーダンス整合ネットワーク235によって提供される基本周数でのインピーダンス整合に大きく影響することなく、プラズマシースで生成される高調波の位相と振幅とを、「正規」の半波整流正弦シース電圧波形を生成するために必要な高調波50に対して調節する。本発明の一実施形態では、これは、

21

整合ネットワーク235で与えられるよりもはるかに大きなインピーダンスを所望の高調波（例えば第2の、または第2と第3の高調波）に与えるように高調波フィルタを選択することによって、達成される。

【0044】別の実施形態では、直列に配置された複数の高調波フィルタ（図示せず）は、それぞれ、特定インピーダンスの大きさと位相を、正確な性能最適化のために、例えば20個の高調波までのRF信号の特定高調波に対して提供できる。この実施形態が特に有利かもしれないのは、設計変更の要件が、基板にエッチングされない開口部のアスペクト比を増加させるからである。高調波フィルタ270を使用する別の利点は、インピーダンス整合回路235を最適化して、高調波周波数における挙動に関係なく、基本周波数において広範囲のプラズマ負荷インピーダンスを整合させる能力である。これが起るのは、高次の第2および／または第3の高調波では高調波フィルタ270のインピーダンスが整合回路のインピーダンスより大きいからである。かくして、高調波フィルタ270がインピーダンス整合回路とチャンバ55間に置かれた好ましい実施形態では、整合回路はプラズマシースで発生する高調波周波数成分から隔離される。

【0045】発明の好ましい実施形態では、高調波フィルタ270は、第2の高調波（および第3の高調波も同様）における必要な位相レスポンスを提供して正規または明瞭な半波整流正弦シース電圧波形を発生させるために、主として誘導的である。更に、好ましい実施形態によれば、第2と第3の高調波でのインピーダンスの大きさは比較的高く、通常は約50Ωである。好ましい実施形態は第2の高調波（および／または第3の高調波）で誘導インピーダンスを使用するが、注意すべきことは、いずれにしてもRF出力250、255、260のインピーダンスは大きな実成分を持つ一方、チャンバ負荷インピーダンスは小さい実成分を持ち、従ってほぼ純粋にリアクティブで±90度のいずれかの位相角を持つことである。かくして、いずれの場合も、高調波フィルタ270のエレメントは純粋に容量性が誘導性のいずれかである。後者が好まれるが、その理由は、一般にチャンバ／プラズマ／シースの負荷インピーダンスが主として容量性だからである。適当な回路は、1997年4月4日出願のCraig Rodrick他による米国特許出願第08/832,743号、名称「プラズマシースによって発生する高調波を渦波することによるプラズマプロセス性能の改良」に記載される。

【0046】整合回路235と高調波フィルタ270とを含むシステムの設計では、基本RF周波数でのインピーダンス整合をもたらすために高調波フィルタのインピーダンス整合を考慮しながら、整合回路コンポーネント値を選択する。この整合は、処理中のプラズマまたはプラズマチャンバ55の負荷インピーダンスの予想変動を含む全インピーダンス範囲で、反射RF電力を20%以

10

20

30

40

50

22

下、好ましくは10%以下に制限するだけ精密にする。高調波フィルタ270のコンポーネント値は、第2の高調波周波数の全範囲で高い誘導インピーダンスを提供するように選択される。この範囲は、整合回路235が、基本RF周波数を変更してプラズマチャンバ負荷インピーダンスの変動に追従するようなRF同調法を使用する場合は重要となる。

【0047】「プラズマイオンの磁気的閉じ込めと搅拌」図2を参照すると、プラズマイオン密度とエネルギー一分布は、基板30の平面に実質上垂直な磁界280を発生させて基板30の表面の直上のプラズマゾーン65にプラズマを閉じ込めてことによって、更に高められる。磁界280は通常、永久磁石285、またはチャンバ55に隣接する電磁アンテナによって生成されるが、これは、例えば1989年6月27日発行の米国特許第4,842,683号に記載され、引用によって本明細書に組み込まれている。永久磁石285は、プロセスチャンバ55内部の取り外し可能なチャンバラインア290内に密封された、プラズマを半導体窓140、シリコンリング100、および基板30間の領域に閉じ込めて内部チャンバにプラズマゾーン65を画成する二重円形リングから成ることが望ましい。磁石285は、磁石からの半径方向距離と共に急速に減衰する強力な局部磁界280を磁石の近傍に発生させる半径方向に対向する磁界方向を持つ。通常、磁界の実際成分は基板表面の上で最大10ガウスである。磁気的閉じ込めはプラズマイオン電流を、通常は少なくとも2桁の大きさだけ減少させると共に、内部チャンバ領域の外側で25eVより大きいイオンエネルギーを遮断するのに役立つ。基板30の処理面へのプラズマの磁気的閉じ込めは、基板30の汚染を最小にしながらプラズマイオンの指向性を増加させる。磁気的閉じ込めは、外部チャンバ領域のチャンバ壁に形成される高分子堆積物の量を少なくするので、エッチング後に要求されるチャンバ処理ステップも削減される。

【0048】図6と7は、プラズマイオンの分布の均一性を高める高指向性磁界をプラズマゾーン65内に発生させるための多指向性磁界システムを概略的に示す。チャンバ55は、内部にパワー電極165を組み込んだ誘電体部材155の上の一次バイアス電極として働く金属天井を備える。電磁コイル295、300、305、310のアセンブリや永久磁石（図示せず）等のチャンバ55に隣接するかその内側の磁界発生器292が、各磁界発生器によって生成される磁界のベクトル和の磁界をプラズマゾーンに発生させる。磁界はプラズマゾーン65に対する磁界発生器292の位置と運転モードに依存する。磁界発生器292は、経時変化する角方位と大きさを持つ多指向性磁界を発生させることができ。一実施形態では、多指向性磁界発生器292は、チャンバ55の側壁70に隣接して配置される複数の電磁石295、300、305、310を備える。電磁石295、

23

300、305、310は、電磁石のコイルに加わる電流を変化させてプラズマゾーンに多指向性磁界を発生させる電磁石電源によって電力を供給される。適切なコイル構成は複数のペア導電コイルを備え、各ペアのコイルは基板30の平面に実質上平行な磁界を発生させる。電源は、DC磁界を電気的に発生させると共に、各コイルペアによって生成される磁界の角方位の大きさを独立に変更することによって磁界を選択的に動かすために、選択された順序で複数のペアコイルに通電する。チャンバ55の側壁70に隣接して配置する代わりに、電磁界発生器292を、チャンバの天井の上、および／または内部にパワー電極165を有する単体誘電体部材155の下に配置することも可能で、これは例えば、引用によって本明細書に組み込まれた米国特許第5,255,024号に開示されている。その他に、磁界発生器292は、チャンバ55の側壁70に隣接して配置された複数の可動永久磁石を備えることができる（図示せず）。磁石は、円または楕円軌道で回転、および／または直線的に運動してプラズマゾーン65に多指向性磁界を発生させるアーマチャに装着してもよい。適当な永久磁石は、約35ないし約100ガウスの磁界強さを持つニッケルフェライト、コバルトフェライト、またはバリウムフェライト等の強磁性体から構成される。

【0049】電磁界発生器292は、各コイルまたは磁石によって生成される磁界のベクトル和の磁界であってチャンバ55に対するそれらの位置と運転モードに依存する磁界を発生させる。電磁コイルまたは磁石は、基板30の表面に実質上平行で基板表面に直交する軸のまわりに対称な成分を有する磁界を提供するように構成できる。この形態では、プラズマ内の電子に付与されたEX-Bドリフト速度は方位的で、プラズマシース内の電子を付勢して、基板30の処理面に平行、かつそのすぐ上の平面内の円形経路をたどって移動させる。別の実施形態では、コイルまたは磁石は、基板30の平面に実質的に直交する主成分を有する磁界を提供するように構成される。更に別の実施形態では、コイルまたは磁石は、プラズマゾーン65に対してある角度を成すか、そのスペースまたは容積を横切って湾曲した、基板30の平面の上の成分を有する磁界を提供するように構成される。磁界発生器292の磁界の特定方位は、基板30の処理の均一性と速度を高めるように選択される。

【0050】好ましい実施形態では、磁界発生器295、300、305、310は、それぞれ、ペデスタイル／カソードおよび基板にはほぼ平行で相互に垂直な磁気ベクトルBy、Bxを形成するが、それについて、通例的に所有される米国特許第5,215,619号に開示され、引用によって本明細書に組み込まれている。図6の例示的な図では、コンピュータ312がライン315、320、325、330を介して従来の電源システム335、340、345、350に制御信号を加えることに

24

よって、導体355、360、365、370を通して電磁石295、300、305、310にそれぞれ供給される電流の大きさと方向を制御する。関連電流は、各コイルペアによって生成される磁界の方向と大きさを決定する。その他に、コンピュータ312を使って、円／楕円形に回転するか直線方向に往復運動可能なアーマチャ内に配置された強磁性体製永久磁石のセットを備えた磁界発生器292の往復運動を制御することもできる。電磁界発生器292によって生成される垂直磁界ベクトルBy、Bxは、関数 $B_x = B \cos \theta$ 、および $B_y = B \sin \theta$ によって定義される。磁界Bとその角方位θの所望値または要求値が与えられると、コンピュータ312は独立に式を解いて所望の磁界強度と方位を提供する関連磁界ベクトルBy、Bxを得た後、コイルの必要な電流の適用を制御するか永久磁石の動きを制御することによって所望の磁界By、Bxを提供する。

【0051】更に、DC磁界の角方位と大きさは、電磁コイル295、300、305、310の電流を変更することにより、または磁石の回転運動によって、所望する通りに急速またはゆっくりと、独立して変更できる。コンピュータ312の制御を使って、磁界がそれぞれの角度位置、角ステッピング関数の方向、および磁界の強さにある時間を変更する。かくして、選ばれた方位と時間の増分を使って、磁界を基板30のまわりにステップさせることができる。希望すれば、プロセス条件やチャンバ構成が一定の磁界強さを要求する場合は結果としての磁界Bθの大きさを変更してもよい。電磁コイルへの電流を逐次的に変更するか磁石を回転させることによって、磁界を2ないし5秒／回転の遅い速度で回転させることができが望ましい。これが磁界を基板30のまわりにステップさせて、基板を横切る一方ではなく、基板まわりの360度でエッチングの均一性を増加させる。その結果、低圧エッチングシステムの場合を超える指向性と選択性と均一性で、広範囲の圧力にわたってチャンバ55を使用できる。

【0052】エッチングプロセスでは一般に、磁界の強さが増すにつれて、プラズマエッチングプロセスで形成される保護側壁堆積物が厚くなり（酸素ソースが存在する場合）、エッチングされたトレントのプロフィールのテーパが大きくなっているが、湾曲が小さくなる。磁界を変更する能力が、トレントの深さの大きいエッチングフィーチャ・プロファイルの制御を可能にする。例えば、非常に狭くて深いトレントでは、誘電体材料によるトレントの充填を容易にするために、より広いトレント開口を持つことが望ましいだろう。磁界の調節によってたらされるテーパ制御は、漏斗形で、広口の、胴の狭いトレントを提供する。

【0053】プロセスチャンバ55用コンピュータ制御システム312は、例えばカリフォルニア州、Synenerg 50 y Microsystemsから市販される68040マイクロプロ

25

セッサ等の周辺制御コンポーネント付き記憶システムに相互接続された中央処理装置(CPU)を備えた従来のコンピュータシステムで動作するコンピュータプログラムを使って運用される。コンピュータプログラムコードは任意の従来型コンピュータ読取り可能プログラム言語、例えば68000アセンブリ言語、C、C++、パスカル等で書ける。適当なプログラムコードは、従来のテキストエディタを使って單一ファイルまたはマルチファイルに入力されて、コンピュータの記憶システム等のコンピュータ使用可能媒体に格納されるか組み込まれる。入力されたコードテキストが高レベル言語の場合、コードがコンパイルされ、結果のコンパイラコードが次に、プリコンパイルされたウインドウズ・ライブラリ・ルーチンの目的コードとリンクされる。リンクされたコンパイル済み目的コードを実行するには、システムユーザーがその目的コードを呼び出し、それによってコンピュータシステム312がそのコードをメモリにロードして、プログラムで識別されたタスクが実行される。

【0054】「湾曲ドーム天井」図8と9は、ドーム形天井140を持つ円筒形を有するプロセスチャンバ55の別の実施形態を示す。ドーム天井140は、RF電界に対して透過する誘電体材料から構成するか、あるいはシリコンの一体ピース、または湾曲した形状を与えるように接着剤を使って互いに結合されたシリコンのタイルから構成できる。天井140は平面、ドーム、円錐、円錐台、円筒、またはそれらの形の組合せを含む任意の適切な形状でよい。誘導子アンテナ135は、三次元形状を画成する天井に対してもチャンバ55の上面が非形状適合的であること、すなわちアンテナの垂直方向ピッチ(垂直高さを水平幅で除したもの)がチャンバ55の上面のピッチより大きいことが望ましい。この構成は、アンテナ135の誘導電界をそれらの各対称の中心軸の近くに集中させる。また、アンテナ135は、チャンバの側面のまわりでなくてプロセスチャンバ55の天井140の上に配置されるので、必要な誘導浸透厚さを備えるように要求されるチャンバの容積が小さくなり、プラスマゾーン65を、より小さいスペース容積に閉じ込めることができる。

【0055】「プラズマイオン密度とエネルギー分布」チャンバ内の基板表面上のプラズマイオン密度とエネルギー密度関数を明らかにするために、本明細書に記載される様々なチャンバ構成について各種の実験が行なわれた。例えば、基板30の表面のイオンエネルギースペクトルが、本発明のプロセスチャンバ55をシミュレートした環境で、従来のプロセスチャンバをシミュレートした環境と比較して測定された。従来のプロセスチャンバ20は8300ピコファラードのチャンバ負荷インピーダンスだったが、本設計のチャンバ70ははるかに低い約450ピコファラード(従来チャンバのインピーダンスの約1/18)のチャンバ負荷インピーダンスだった。両

10

20

30

40

50

26

チャンバは約358ピコファラードの一定プラズマ負荷インピーダンスだった。かくして、本発明では、プラズマによる負荷インピーダンスはチャンバ自体によるインピーダンスよりもはるかに大きく、その結果、RF電圧モジュール265のインピーダンスをプラズマのインピーダンスに整合させるために固定整合ネットワーク235を設計することが可能である。両チャンバで、プラズマイオンエネルギースペクトルは、誘電体部材155に内蔵されてファイバーオプティックで外部環境に連結された小型バッテリ駆動静電エネルギー分析器を使って測定された。誘電体部材155はブランクのシリコンウェーハで覆っていたので、ウェーハを通して加工した小孔が分析器へのプラズマイオンのアクセスを可能にした。この構成が、チャンバ55内の現状ままの、実際のプロセス状態でのプラズマイオンエネルギー分布の測定を可能にした。

【0056】図10は、基板の下の「ホット」なカソード電極と、カソードを囲む絶縁体シールドとを有する従来のプロセスチャンバ20のエネルギー分布を示す。チャンバ20は、絶縁体シールド構造その他のチャンバ内のコンポーネントから生じる、より高い容量性負荷を持つ。この、より高い容量性負荷が、特に高次のRFバイアス電力レベルでプラズマイオンエネルギー分布に大きく影響して、多モードまたは多重ピークのイオンエネルギー分布をもたらす。異なるエネルギーレベルで中心を作る多重ピークは、実質的に異なるエネルギーレベルを持つイオンの大きな分布や広がりを提供すると共に、エネルギー値の低い比較的多数のプラズマイオンをもたらす。例えば、600WのRFバイアス電力における第1のカーブは230eVでピークを持ち、これは、図11に示す本チャンバ設計で同一RF電力レベルに対して得られたイオンエネルギー分布カーブに比べて約100eV低い。かくして、同一RFバイアス電力レベルでは、高次のエネルギーレベルでのイオン総数が、従来のチャンバ設計では本チャンバ55の場合より少なくなる。高次のRFバイアス電力レベルでは、大小の両ピークを持つ双モード(bimodal)分布が得られる。そのような双モードエネルギー分布は、基板30の狭いか、高アスペクト比の孔を効率的にエッチングせず、しばしば「エッチ・トップ」プロセス(この場合、エッチングプロセスは、必要な深さ全体をエッチングせずにトレーナーの中で停止する)をもたらす。

【0057】それとは対照的に、比較的低い容量性負荷と多重電極を持つ本発明のプロセスチャンバ55は、チャンバのパワー電極165に加わるRFバイアス電圧にかかわらず、実質的に単モードのイオンエネルギー分布を提供した。図11は、一次と二次のバイアス電極145、170が電気的に接地され、チャンバ55の上の单一誘導子コイルが2800Wの一定電力レベルで作動される状態で、パワー電極165に加わるRFバイアス電

27

圧の増加の関数としてのエネルギー分布を示す。図で、  
x軸は測定されたプラズマイオンエネルギーレベルを示し、y軸はセンサに達したプラズマイオンの数を、パワ  
ー電極165に加わるRFバイアス電圧の増加の関数と  
して示す。測定されたプラズマイオンエネルギーレベル  
のピークはRF波形の最大負電圧に対応する。約600  
WのRFバイアスでの第1のカーブのピークは、330  
eVに中心を持つピークを有する単モードのイオンエネ  
ルギー分布を示す单一の高強度ピークを構成する。RF  
バイアス電圧の増加につれて、単モードイオンエネルギー  
分布のピークの平均値は右に移動して、800WのRF  
バイアス電力レベルでは400eVでピークを持つ。  
RFバイアス電力レベルが1000、1200、1400、1600Wと増加するにつれて、イオンエネルギー  
レベルは右に移動して約600eVでピークとなる。x  
軸を横に移動する単モードイオンエネルギー分布は、  
プラズマに加わるすべての電力が高アスペクト比のトレ  
ンチ、例えば、狭い開口を持つ垂直方向に長いSACエッ  
チやコンタクトエッチをエッチングする高指向性イオン  
を作るために効率的に使用されることを示している。こ  
れらの実験から明らかなのは、単モードイオンエネルギー  
分布は、イオンエネルギーレベルの広がりが比較的小  
さい单一のピークを持ち、電極に加わるRF電圧の増加  
と共に、双モードや拡散(spread-out)イオンエネルギー  
分布に形を変えることなく、より高いエネルギーレベル  
に一様に移動することである。

【0058】図12は、RF誘導電界が半導体天井140を介して誘導子アンテナ135から伝達されたときの  
低誘導電力損失または吸収を表す実験結果を提供する。  
この実験では、2つの誘導子アンテナが直径13.5インチ、厚さ1インチのシリコンスラブの両側に置かれ  
た。スラブの一方の側の誘導子アンテナ135は可変周  
波数RF電源に接続され、他方の側のアンテナは多チャ  
ンネル分析器に接続された。RF電源の周波数は1kHz  
から10MHzまで掃引された。結果の多チャンネル  
分析器の出力を図13に示す。「大きさ」と表示したカ  
ーブでは、垂直軸は受信信号と送信信号の大きさの比  
で、スケールの最上部の1の値から0.1の目盛りで下  
降するのに対して、水平軸は1kHzから10MHzま  
でのRF周波数を示す。「位相」と表示した軸は、受信  
信号と送信信号の位相角間の差を表し、スケールの最上  
部の20°の値から20°の目盛りで減少する。図13  
がはっきり示すように、シリコンスラブを通る誘導結合  
RF電力の損失は、約2MHzの周波数まで事実上存在  
せず、約2MHzの周波数で誘導結合RF電力の比較的  
低い損失がある。

【0059】広範囲のプラズマイオン飽和電流とプラズ  
マイオン電流の均一性を、基板30の表面を横切る半径  
方向位置の関数として図13に示す。この実験では、図  
2のプロセスチャンバ5は、アルゴンと酸素ガスが

28

3:1の割合で600scmの流量で供給された。シリコン天井140の温度は210°Cに維持された。プロセス電極に供給されたバイアス電力は0Wに保持され、チャック用電極へのDCバイアスは-100VDCだ  
った。総電源電力は1800Wに維持された。第1の最  
下部カーブ400は1050Wの外部コイル電力と75  
0Wの内部コイル電力に対して得られたもので、第2の  
カーブ405は1200/600W、第3のカーブ41  
0は1275/525W、第4のカーブ415は135  
0/450W、第5のカーブ420は1500/300  
W、そして第6のカーブ425は1800/0Wの、そ  
れぞれ、外部/内部コイルに対する電力に対して得られ  
たものである。図から明らかのように、内部と外部の電  
源コイル電力比を変更することによって、イオン飽和電  
流が広範囲の電源およびバイアス電力レベルにわたって  
一定になる。また、イオン飽和電流はコイル電力レベル  
に直線的に依存し、異なる電極に加わるRFバイアス電  
力レベルから本質的に独立である。更に、基板DCバイ  
アスで電圧とDCRF負ピーク電圧(基板30における  
平均およびピークイオンエネルギーの概略指標)はRF  
バイアス電力レベルに直線的に依存する。イオン電流の  
均一性とパターン加工酸化物イオンエッチング速度の均  
一性の間の密接な相関も、代表的なエッチングプロセス  
に対して示される。

【0060】次の実験では、外部と内部のアンテナに加  
わる電源電力の比は2:1に保たれ、チャンバ圧力は、  
3:1の割合の、100scmの流量のArとO<sub>2</sub>か  
ら成るプロセスガスを使用して5mTorrに保たれ  
た。図14から明らかなのは、イオン飽和電流は、誘導  
子コイルに加わる電源電力レベルの増加と共に直線的に  
変化して、プロセス電極に加わるRF電力から事実上独  
立していることである。RFバイアス電力レベルが12  
00Wから2倍の2400Wまで増大しても、イオン飽  
和電流はわずかしか増加しない。それとは対照的に、イ  
オン飽和電流は電源電力レベルの上昇に対して急速に増  
加する。しかしながら、図15から分かるように、プロ  
セス電極に印加されるRFバイアス電力がウェーハDC  
バイアス電圧の線形制御をもたらす。かくして、誘導子  
コイルに対する電源電力レベルとプロセス電極に印加さ  
れる電力レベルの独立した制御は、プラズマゾーンのプ  
ラズマイオン密度とエネルギー分布の最適制御を提供す  
る。

【0061】図16(a)と16(b)は、チャンバ5  
のプラズマゾーン65内のプラズマの磁気的プラズマ  
閉じ込めをはっきりと示している。図16(a)は、  
プラズマゾーン65の内部と外側の、O<sub>2</sub>+プラズマイオ  
ン密度とプラズマイオンエネルギーに対する磁気的プラ  
ズマ閉じ込めとバイアス電力の影響を示す。永久磁石2  
85の存在はプラズマゾーン65の外側のイオン密度を  
50二桁の大きさだけ減少させ、25eV以上のイオンエネ

29

ルギーを遮断する。図16(b)は、チャンバ5の表面を横切って半径方向に動くラングミュア・プローブで測定された磁気的プラズマ閉じ込めを示す。これらの実験では、フルオロカーボン・プロセスガスがチャンバ5に導入され、チャンバ圧力は90 mTorrに維持された。1600Wで-100V DCのバイアス電位のRF電圧がパワー電極165に印加された。3100Wの電力レベルの電流が外部誘導子コイルに印加され、1800Wの電力レベルの電流が内部誘導子コイルに印加された。イオン飽和電流とプラズマ浮遊電位は、基板30の半径全体にわたって均一だったことが分かる。また、イオン電位は基板60の半径を超えると低下して、プラズマゾーン65を超えると磁気的閉じ込めのために急速に低下すること、および浮遊電位は、イオン電流よりもゆっくりだが、半径の増加と共に低下することが分かる。

## 【0062】

【発明の効果】本発明を、その好ましい形態に関してかなり詳細に説明したが、他の形態も可能である。例えば、半導体天井140は、誘導電界透過窓上に適用され、半導体材料の薄い金属層から構成できる。また、異なる半導体材料の薄い金属層から構成できる。また、異なるバイアスレベルで作動する追加のプロセス電極も、本発明の範囲から逸脱することなくチャンバ5の中で使用できる。更に、上部、下部、中心部、天井、ベース、床その他の構造の空間方位の上記用語は、本発明の範囲に影響することなく、同等または反対の方位に変更できる。従って、付属の請求項を、発明の説明のために本明細書に記載された好ましい形態、材料、または空間配置の記述に限定してはならない。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術のプロセスチャンバの概略部分断面図であり、カソードまわりの絶縁体シールドとチャンバ内に形成されたキャパシタンス結合とを示す。

【図2】本発明によるプロセスチャンバの概略部分断面図であり、誘導子コイル、一次バイアス電極、パワー電極、および二次バイアス電極の代表的な配置を示す。

【図3】(a)はプロセスチャンバの下部の部分断面斜視図であり、パワー電極を内部に埋め込んだ単体モノリシック誘電体部材と、冷却チャネルを持った下にくる二次バイアス電極とを示し、(b)は(a)の単体モノリシック誘電体部材の概略断面図であり、内部に埋め込まれた電極を示す。

【図4】プロセスチャンバの概略部分断面図であり、パワー電極、一次と二次のバイアス電極、および誘導子コイルに電力を供給するための電源のブロック線図を示す。

【図5】(a)はプロセスチャンバの別の実施形態の概略部分断面図であり、好ましいコイル構成を示し、(b)は(a)のプロセスチャンバで使用される誘導子アンテナコイルの斜視図である。

30

【図6】プロセスチャンバ内に多指向性磁界を発生させるための磁界発生システムの概略図である。

【図7】図6のプロセスチャンバの概略部分断面図であり、多指向性磁界発生器の配置を示す。

【図8】天井がそれに隣接した誘導子コイルを持つ誘電体材料のドーム形壁を備えた、プロセスチャンバの別の実施形態による概略断面図である。

【図9】天井がそれに隣接した誘導子コイルを持つ誘電体材料のドーム形壁を備えた、プロセスチャンバの別の実施形態による概略断面図である。

【図10】従来のプロセスチャンバで、異なるRFバイアス電力レベルに対して得られた双モード・プラズマイオンエネルギー分布を示す線図である。

【図11】本発明のプロセスチャンバで、異なるRFバイアス電力レベルに対して得られた单モード・プラズマイオンエネルギー分布を示す線図である。

【図12】送信用と受信用のアンテナ間にシリコン半導体スラブを置いた状態で送信用RF誘導子アンテナから受信用RF誘導子アンテナへの正規化された順電圧透過係数(transmission coefficient)を示す線図である。

【図13】基板表面上の位置と、誘導子アンテナに印加される電流の電力レベルとの関数としてのイオン飽和電流を示す線図である。

【図14】誘導子アンテナ電力レベルとRFバイアス電力レベルとの関数としてのイオン飽和電流を示す図である。

【図15】基板に印加されたDCバイアス電位に対する誘導子アンテナ電力レベルとRFバイアス電力レベルとの影響を示す線図である。

【図16】(a)は、プラズマゾーンのO<sub>2</sub>+プラズマイオン密度とイオンエネルギーに対する、磁気的プラズマ閉じ込め(plasma confinement)とRFバイアス電力との影響を示す線図であり、(b)は、ラングミュアプローブをチャンバの半径方向に移動させて測定した際の、イオン飽和電流とプラズマ浮遊電位に対する磁気的プラズマ閉じ込めの影響を示す線図である。

## 【符号の説明】

30…基板、34…石英絶縁体シールド、50…プラズマ処理装置、55…プロセスチャンバ、60…高指向性電界成分、65…プラズマゾーン、70…側壁、75…底部壁、85…プロセスガス源、90…ガス流量制御システム、100…シリコングリッピング、105…環状通路、110…ガス噴射孔、115…タングステンハロゲンランプ、120…排気システム、125…排気ポンプ、130…スロットルバルブ、132…ポンプ排出用チャネル、135…誘導子アンテナ、135a…内部コイル、135b…外部コイル、140…受容面(半導体天井)、145…一次バイアス電極、155…誘電体部材、165…パワー電極、170…第2バイアス電極、175…導電面、180…電圧源、185…伝熱プレ

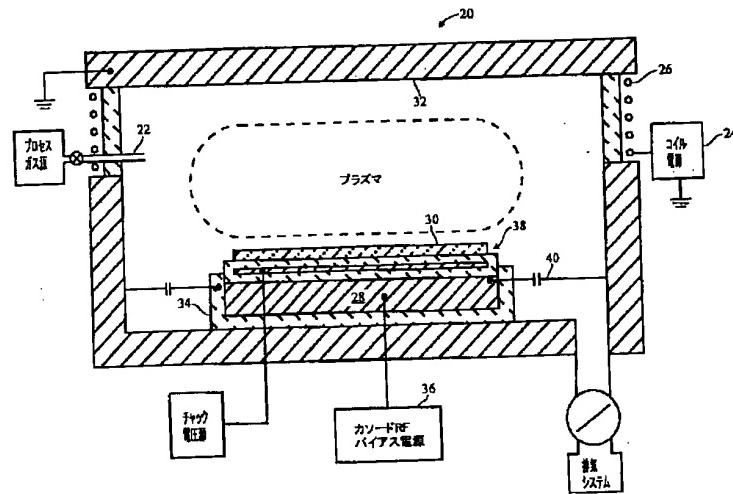
31

ト、200…被覆層、205…誘電体支持層、208…周縁部、210…側部層、215…ヘリウムガスフィードスルー孔、235…固定インピーダンス整合ネットワーク、250, 255, 260…電極出力、256…RF電圧モジュール、265…RF電圧発振器モジュール、270…高調波分離フィルタ、275…DCチャック

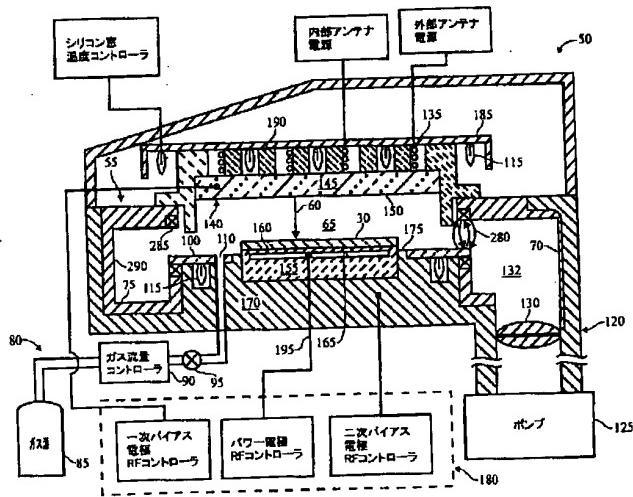
32

ク用電圧モジュール、280…局部磁界、285…永久  
磁石、292…磁界発生器、295, 300, 305,  
310…電磁コイル、312…コンピュータ、315,  
320, 325, 330…ライン、335, 340, 3  
45, 350…電源システム、355, 360, 36  
5, 370…導体。

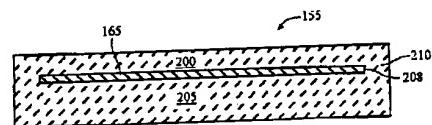
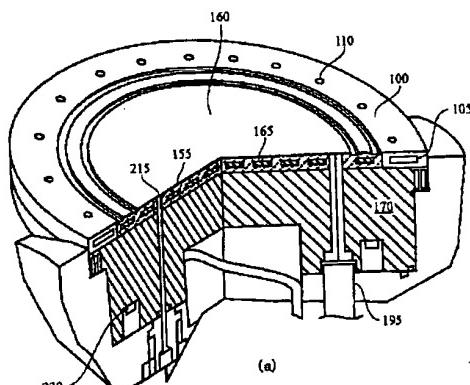
【図1】



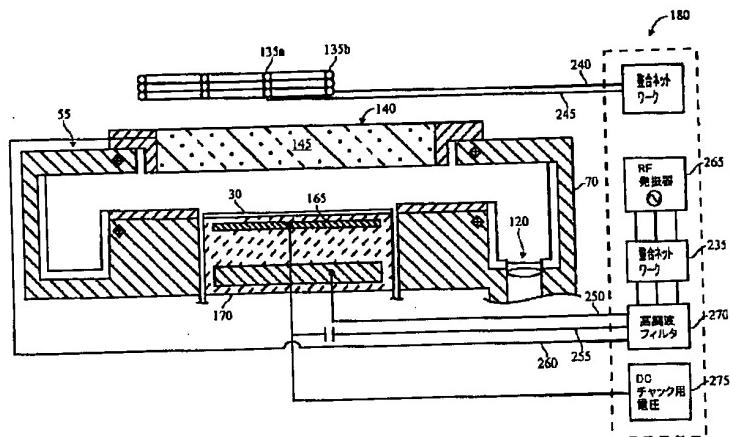
【図2】



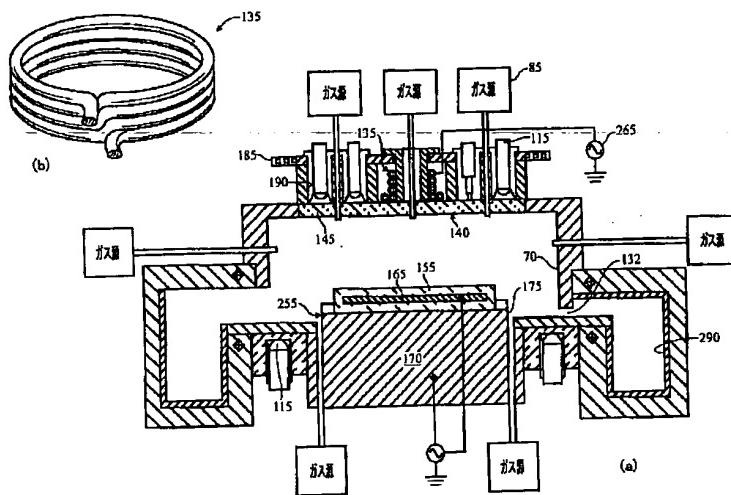
【図3】



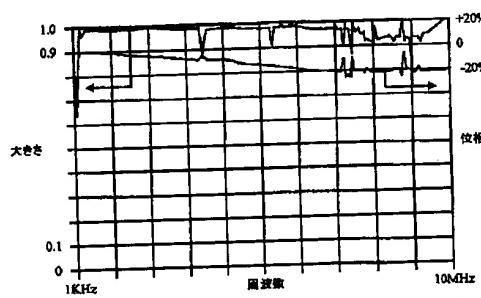
【図4】



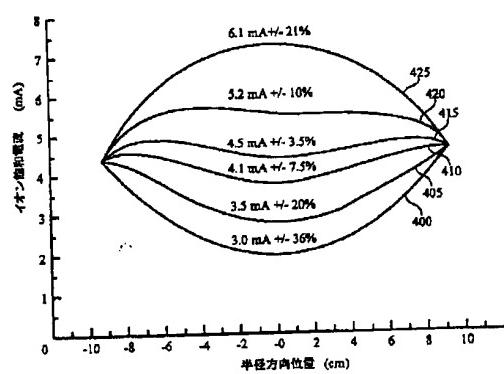
【図5】



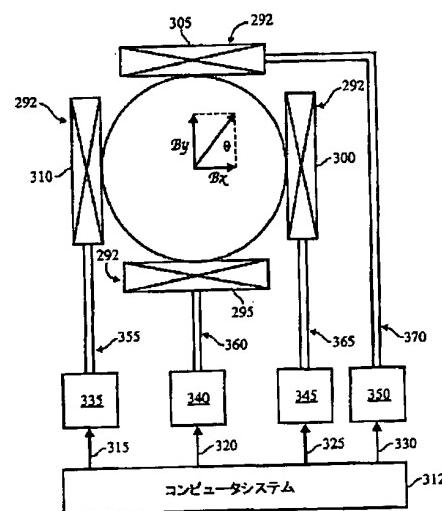
【図12】



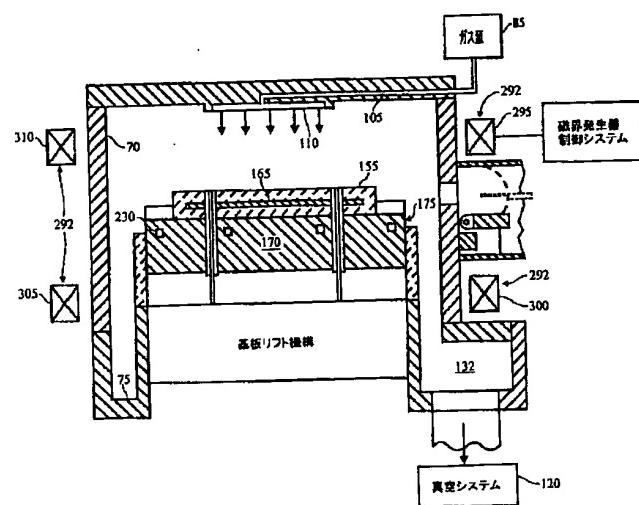
【図13】



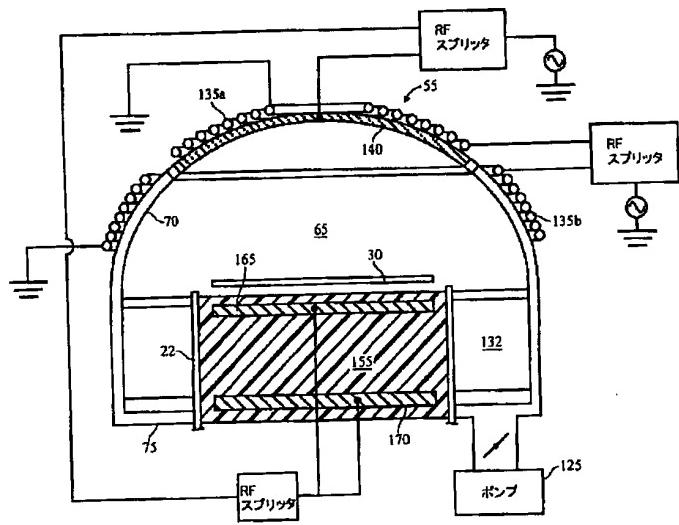
【図6】



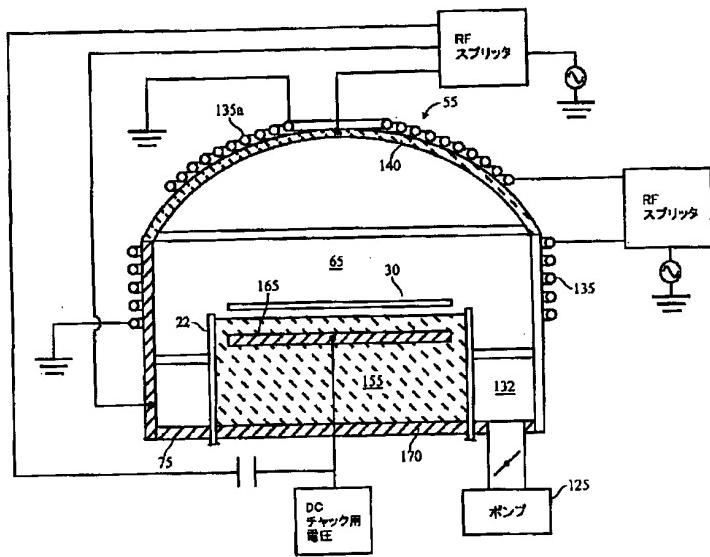
【図7】



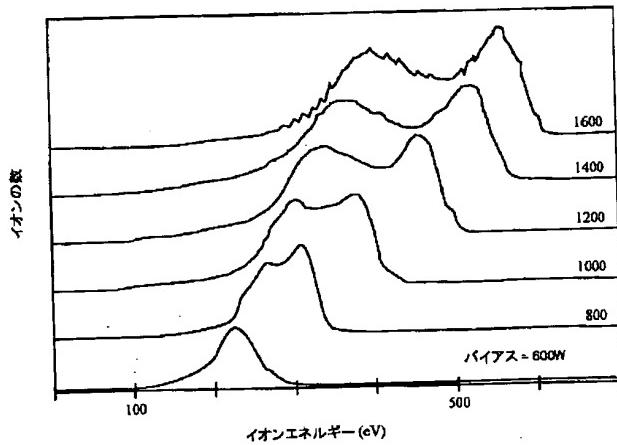
【図8】



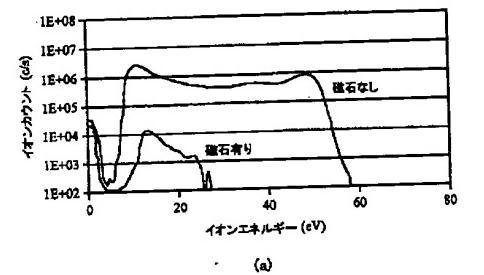
【図9】



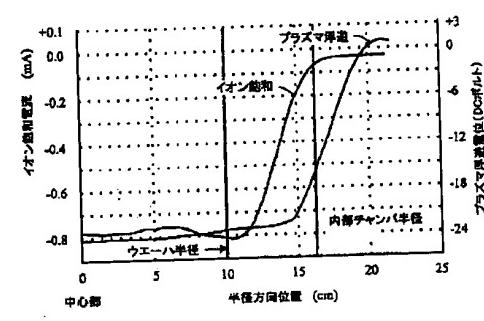
【図10】



【図16】

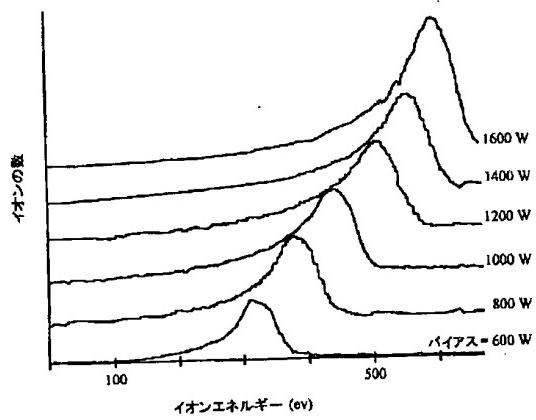


(a)

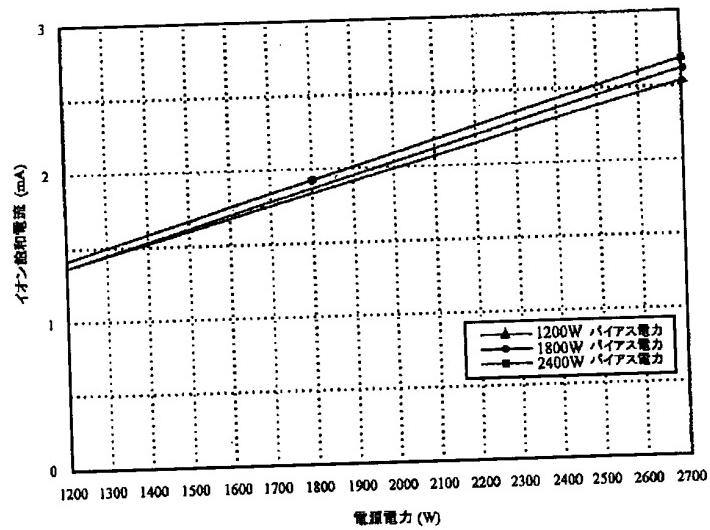


(b)

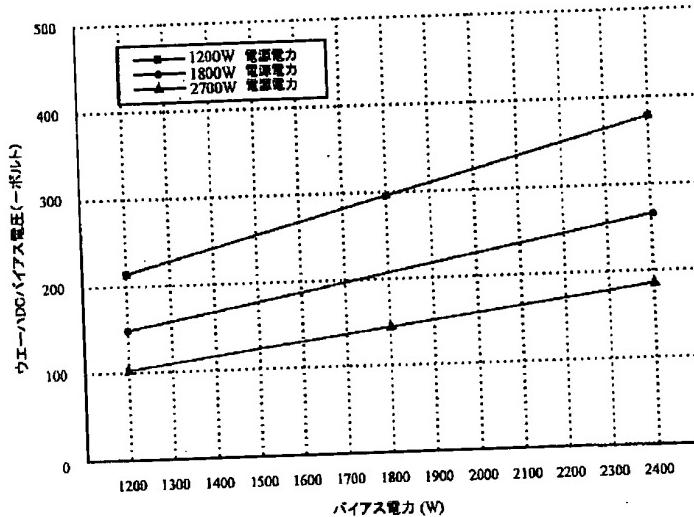
【図11】



【図14】



【図15】



## フロントページの続き

(72)発明者 アナンド エイチ. クマール  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,  
ミルピタス, ノールヴュー ドライヴ  
1296

(72)発明者 アーノルド コロデンコ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,  
サン フランシスコ, ユーカリップタス  
ドライヴ 1747

(72)発明者 デニス エス. グリマード  
アメリカ合衆国, ミシガン州, アン  
アバー, リバティー ポイント 511

(72)発明者 ジョナサン ディー. モーン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,  
サラトガ, パセオ プレサダ 13179

(72)発明者 マイケル ジー. チャフィン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,  
サン ノゼ, マンザニタ ドライヴ  
4120

(72)発明者 ケネス エス. コリンズ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,  
サン ノゼ, ナイツヘイヴン ウェイ  
165